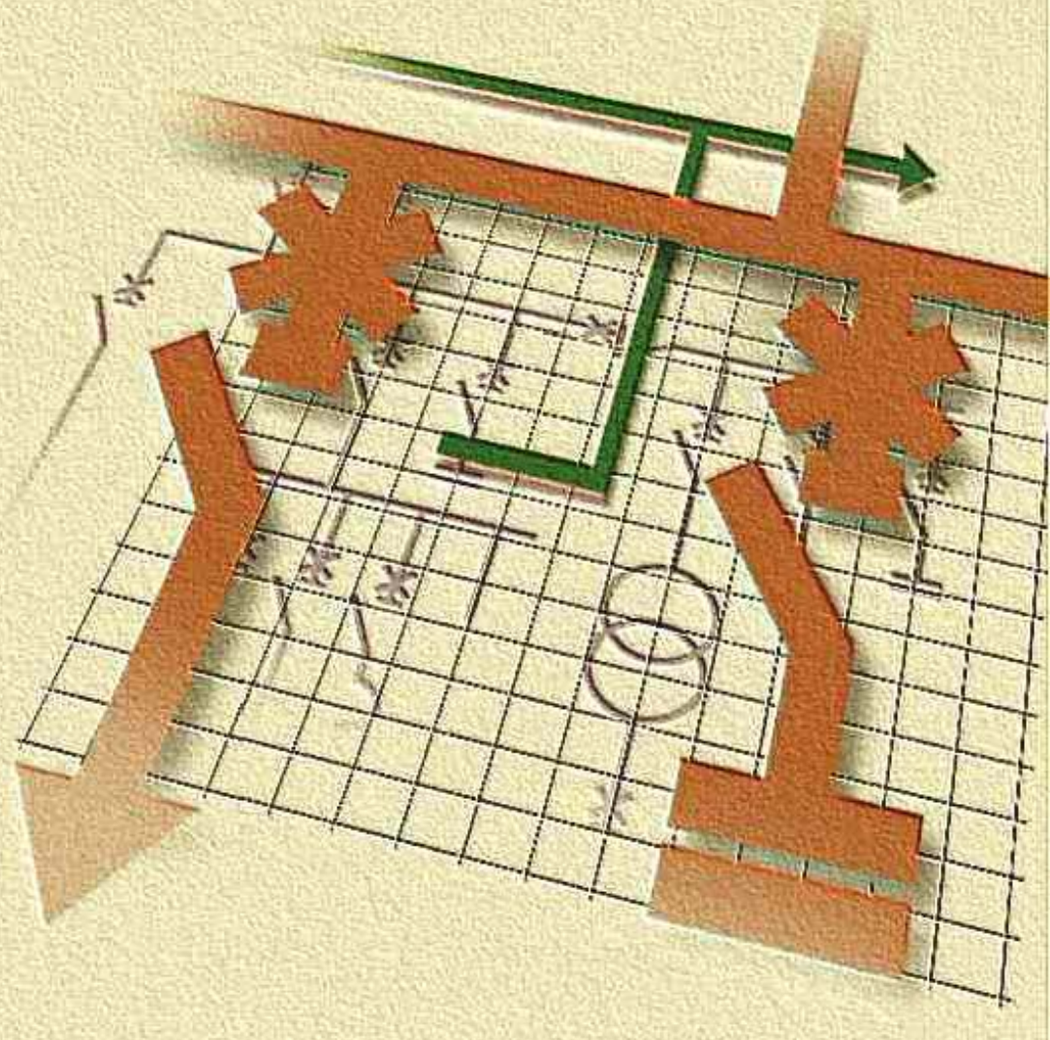
Colecţia Tehnică

# Manualul instalaţiilor electrice

*în conformitate cu standardele internaţionale CEI*



Merlin Gerin
Square D
Telemecanique

Schneider Electric

Acest ghid a fost scris pentru inginerii electricieni care trebuie să proiecteze, să realizeze, să inspecteze, sau să întreţină instalaţiile electrice în conformitate cu standardele internaţionale ale Comisiei Electrotehnice Internaţionale (CEI).
“Care soluţie tehnică va garanta că toate criteriile de siguranţă sunt indeplinite?” Această întrebare a fost un ghid permanent în elaborarea acestui manual.

Un standard internaţional cum ar fi CEI 60364 “Instalaţii electrice din clădiri” specifică în mod extensiv regulile care trebuie aplicate încât să se realizeze siguranţa şi caracteristicile de funcţionare preconizate pentru toate tipurile de instalaţii electrice. Întrucât standardul trebuie să fie extensiv, şi trebuie să fie aplicabil la toate tipurile de produse şi de soluţii tehnice care se folosesc la nivel internaţional, textul regulilor din CEI este complex şi nu este prezentat în ordinea de utilizare.
Standardul nu poate fi deci considerat drept un manual de lucru, ci numai un document de referinţă.

Scopul prezentului manual este de a pune la dispoziţie o explicaţie clară, practică şi facută pas cu pas a studiului complet al unei instalaţii electrice în conformitate cu CEI 60364 şi a altor standarde CEI relevante. De aceea capitolul întâi (A) prezintă metodologia care trebuie utilizată iar fiecare capitol se ocupă cu diverse etape ale studiului. Ultimele două capitole sunt destinate surselor de alimentare, sarcinilor şi amplasărilor deosebite, precum şi compatibilităţii electromagnetice.

Noi toţi speram că tu, utilizatorule, vei considera acest manual cu adevărat util.

**Schneider Electric S.A.**

Manualul instalaţiilor electrice este un singur document care acoperă partea tehnică, reglementările şi standardele referitoare la instalaţiile electrice. Este destinat profesioniştilor în domeniu din întreprinderi, birouri de proiectare, organizaţii de inspecţie, etc.

Echipamentul electric trebuie deservit de personal de mentenanţă de specialitate (electricieni calificaţi), iar acest document nu trebuie privit ca un ansamblu de instrucţiuni suficiente pentru cei care nu sunt calificaţi ca să opereze, să întreţină sau să asigure operaţiile de mentenanţă pentru echipamentul discutat mai sus. Deşi s-a acordat o deosebită atenţie pentru a asigura o informare exactă şi corectă în acest document, Schneider Electric nu îşi asumă nici o responsabilitate pentru nici un fel de consecinţe care ar decurge din utilizarea acestui material.

Această nouă ediţie a fost publicată pentru a se ţine seama de schimbările din tehnică, standarde şi reglementări, şi în special standardul CEI 60364 pentru instalaţii electrice.

Aducem mulţumiri tuturor cititorilor ediţiei anterioare a acestui manual pentru comentariile lor care ne-au ajutat să îmbunătăţim prezenta ediţie. Mulţumim de asemenea multor persoane şi organizaţii, prea numeroase ca să fie enumerate aici, care au contribuit într-un fel sau altul la pregătirea acestui manual.

Ediţia în limba română a acestui manual este rezultatul unui efort colectiv.

Consultant tehnic: **Victor Ionescu**
Responsabil ediţie: **Cristian Voicu**
Producţie: **Tangent Prodimpex SRL**
Ediţia Mai 2007

Preţ manual: **120 RON**
Ediţia de lux: **150 RON**

**Schneider Electric România S.R.L.**

Bd. Ficusului nr.40, Clădirea “Apimondia”, Sector 1, București
Tel : (40) 21 203.06.60
Fax : (40) 21 232.15.98
**www.schneider-electric.ro**

Centrul Suport Clienți
Tel : (40) 21 203.06.06
**csc-ro@ro.schneider-electric.com**

În conformitate cu evoluția normelor și a produselor, datele indicate în textul și imaginile din acest material nu ne angajează decât după consultarea agenților Schneider Electric.

MIE052007NORO

05/2007

# Capitolul A
# Reguli generale pentru proiectarea instalațiilor electrice



## Cuprins


| | | |
|---|---|---|
| 1 | **Metodologie** | **A2** |
| 2 | **Reguli și norme statutare** | **A4** |
| | 2.1 Definirea treptelor de tensiuni | A4 |
| | 2.2 Reguli | A5 |
| | 2.3 Standarde | A5 |
| | 2.4 Calitatea și siguranța în funcționare a unei instalații electrice | A6 |
| | 2.5 Verificarea inițială a unei instalații electrice | A6 |
| | 2.6 Verificarea și testarea periodică a unei instalații electrice | A7 |
| | 2.7 Conformitatea cu standardele și specificațiile tehnice a echipamentelor utilizate într-o instalație electrică | A7 |
| | 2.8 Condiții de mediu | A8 |
| 3 | **Tipuri de sarcini - Caracteristici** | **A10** |
| | 3.1 Motoare asincrone | A10 |
| | 3.2 Sarcini de tip rezistiv: sisteme de încălzire și lămpi cu incandescență (convenționale sau cu halogen) | A12 |
| 4 | **Puterea cerută de o instalație electrică** | **A15** |
| | 4.1 Puterea instalată (kW) | A15 |
| | 4.2 Puterea aparentă instalată (kVA) | A15 |
| | 4.3 Estimarea cererii maxime de putere aparentă | A16 |
| | 4.4 Exemple de aplicare a coeficientului de utilizare ($k_u$) și de simultaneitate ($k_s$) | A18 |
| | 4.5 Coeficientul de diversitate | A18 |
| | 4.6 Alegerea puterii nominale a transformatorului | A19 |
| | 4.7 Alegerea surselor de alimentare | A20 |

# 1 Metodologie



Pentru cele mai bune rezultate legate de proiectarea instalațiilor electrice se recomandă studierea tuturor capitolelor, în ordinea în care acestea sunt prezentate.

*A - Reguli generale pentru proiectarea instalațiilor electrice*

## Lista cererilor de putere

Studierea unei instalații electrice necesită o înțelegere adecvată a tuturor regulilor și normativelor ce o guvernează.
Cererea totală de putere poate fi calculată pornind de la date legate de amplasarea și puterea fiecărui receptor și, de asemenea, înțelegându-i modul de funcționare (ex: cererea în regim permanent, condiții de pornire sau legate de simultaneitate, etc).
Pornind de la aceste date rezultă cu ușurință puterea cerută de la sursa de alimentare sau (acolo unde este cazul) numărul de surse necesare pentru o alimentare corespunzătoare cu energie electrică.
Informații locale referitoare la modalitățile de tarifare sunt necesare de asemenea, pentru a permite cea mai bună alegere a conexiunilor cu rețelele de alimentare cu energie electrică de joasă sau medie tensiune.

## Conectarea la rețea

*B - Conectarea la rețeaua de distribuție de medie tensiune*

*C - Conectarea la rețeua de distribuție de joasă tensiune*

Conectarea poate fi făcută în rețeaua de:
- **Medie Tensiune**[1]

Un post de transformare tip consumator (abonat) va fi deci de proiectat, construit și echipat. Acest post de transformare poate fi o instalație exterioară sau interioară în conformitate cu standardele și normele în vigoare corespunzatoare (partea de joasă tensiune poate fi studiată separat, la nevoie). În acest caz, contorizarea este posibilă atât pe medie cât și pe joasă tensiune.
- **Joasă Tensiune**

Instalația va fi conectata la rețeaua locală de energie electrică și va fi contorizată (dacă este necesar) în conformitate cu tarifele pe joasă tensiune.

## Arhitectura distribuției electrice

*D - Ghid de selectie a arhitecturilor de joasă și medie tensiune*

*E - Distribuția de joasă tensiune*

Întreaga instalație de distribuție este studiată ca un sistem complet.
Pentru alegerea celei mai potrivite arhitecturi este propus un ghid de selecție.
Acesta acoperă distribuția principala MT/JT și nivelele de distribuție de putere pe JT.
Sistemul de tratare al neutrului este ales în conformitate cu regulile locale, cu restricțiile în funcție de sursele de alimentare și tipurile de sarcini.
Echipamentele de distribuție (tablourile electrice, aparatajul de comutație, conectarea circuitelor, etc.) sunt determinate de planurile de construcție ale clădirii, de amplasarea și de modul de grupare a consumatorilor.
Amplasarea și tipul acestor echipamente determină comportarea lor la diverse influențe externe.

## Protecția împotriva șocului electric

*F - Protecția împotriva șocului electric*

În funcție de sistemul de tratare a neutrului utilizat, (TT, IT, TN), se vor implementa măsuri adecvate de protecție împotriva pericolului de atingere accidentală directă sau indirectă.

## Circuite și aparate de comutație

*G - Dimensionarea și protecția conductoarelor*

Fiecare circuit se studiază apoi în detaliu. Cunoscându-se curentul nominal al sarcinii, valorile curenților de scurtcircuit, tipul de protecție și, ținând cont de tipul de cablu și de modul său de pozare (care influențează curentul admis de conductor), se poate determina secțiunea cablului.
Înainte de a se adopta secțiunea cablului în conformitate cu cele menționate mai sus se vor verifica următoarele cerințe:
- căderea de tensiune să corespundă standardelor în vigoare;
- pornirea motorului să fie posibilă;
- protecția împotriva șocului electric să fie asigurată.

Se determină apoi curentul de scurtcircuit $I_{sc}$ și se verifică comportarea circuitului la solicitările termice și electrodinamice.
Aceste calcule pot impune utilizarea unui cablu de secțiune mai mare decât cea aleasă inițial.

*H - Aparate de comutație de joasă tensiune: funcții și selecție*

Cerințele impuse aparatelor de comutație vor determina tipul și caracteristicile acestora.
La alegerea fuzibilelor și a dispozitivelor de declanșare ale întreruptoarelor se vor utiliza tehnicile de filiație și selectivitate.

***(1)*** *În Romania, tensiunile cuprinse între 1 și 35 kV sunt denumite MedieTensiune.*

*J - Protecția împotriva supratensiunilor în distribuția electrică de JT*

## Protecția împotriva supratensiunilor

Loviturile de trăsnet directe sau indirecte pot avaria echipamentele electrice la distanță de câțiva kilometri. Supratensiunile interne de comutație și cele tranzitorii de frecvență industrială pot conduce, de asemenea, la aceleași consecințe. Sunt analizate efectele și sunt propuse soluții.

*K - Eficiența energetică în distribuția electrică*

## Eficiența energetică în distribuția energiei

Implementarea în instalațiile electrice a dispozitivelor de măsurare având sisteme de comunicație adecvate poate avea avantaje majore pentru utilizatorul sau proprietarul acestora: reducerea consumului de putere, reducerea costurilor legate de energie, utilizarea eficientă a echipamentelor electrice.

*L - Compensarea energia reactive și filtrarea armonicilor*

## Energia reactivă

Compensarea factorului de putere al unei instalații electrice se realizează local, global sau printr-o combinație a celor două metode.

*M - Detecția și filtrarea armonicilor*

## Armonicile

Armonicile din rețea afectează calitatea energiei și determină numeroase efecte negative precum suprasarcini, vibrații, îmbătrânirea echipamentelor, perturbații ale echipamentelor sensibile în rețelele de calculatoare și telefonice. Acest capitol se referă la originea și efectele armonicilor, explică modul cum acestea pot fi măsurate și prezintă soluții.

*N - Surse și sarcini particulare*

## Surse de alimentare și sarcini particulare

Sunt studiate cazuri și/sau echipamente particulare:
- surse particulare precum generatoare sincrone sau invertoare;
- sarcini particulare având caracteristici speciale, precum motoare asincrone, circuite de iluminat sau transformatoare de separație JT/JT;
- sisteme speciale, precum rețele de curent continuu.

*P - Zone de locuit sau similare și spații speciale*

## Aplicații diverse

Anumite aplicații sunt supuse unor norme particulare mai stricte: un exemplu comun este cel al construcțiilor tip locuințe.

*Q - Compatibilitatea electromagnetică  EMC*

## Linii directoare privind EMC

Pentru a se asigura compatibilitatea electromagnetică trebuie luate în considerare anumite reguli. Nerespectarea acestora poate avea consecințe serioase pentru funcționarea instalației electrice: perturbații în sistemele de comunicație, declanșarea intempestivă a dispozitivelor de protecție și chiar distrugerea echipamentelor sensibile.

## Programul de calcul Ecodial

Programul de calcul ECODIAL[1] reprezintă un instrument de proiectare pentru instalațiile electrice de joasă tensiune, în conformitate cu standardele și recomandările CEI.
Programul realizeaza următoarele:
- construiește schemele monofilare;
- calculează curenții de scurtcircuit;
- calculează căderile de tensiune;
- optimizează secțiunile cablurilor;
- stabilește calibrele aparatelor de comutație și a siguranțelor fuzibile;
- evidențiază gradul de selectivitate a protecțiilor;
- utilizează tehnicile de filiație ale aparatelor;
- verifică condițiile de protecție a persoanelor;
- prezintă într-o manieră coerentă și completă calculele și rezultatele obținute.

***(1)*** *Programul de calcul ECODIAL este un produs Merlin Gerin și este disponibil în limbile engleză și franceză.*

# 2 Reguli și norme statutare



Instalațiile de joasă tensiune se vor conforma unor reguli și recomandări care se clasifică precum urmează:
- Norme statutare (decrete, etc.);
- Reguli de instalare, norme elaborate de instituții profesionale;
- Standarde naționale și internaționale pentru instalații;
- Standarde naționale și internaționale de produs.

## 2.1 Definirea treptelor de tensiuni

### Tensiuni nominale standardizate și recomandări, conform CEI

| Sistem trifazat cu patru sau trei conductoare Tensiune nominală (V) | | Sistem monofazat cu trei conductoare Tensiune nominală (V) |
|---|---|---|
| 50 Hz | 60 Hz | 60 Hz |
| - | 120/208 | 120/240 |
| - | 240 | - |
| 230/400(1) | 277/480 | - |
| 400/690(1) | 480 | - |
| - | 347/600 | - |
| 1000 | 600 | - |

***(1)*** *Sistemele având tensiunea nominală de 220/380 V și 240/415 V vor evolua către valorile recomandate de 230/400 V. Perioada de tranziție va fi cât se poate de scurtă și nu va depăși anul 2008. În această perioadă, ca etapă, autoritățile naționale cu răspundere în ceea ce privește furnizarea de energie electrică din țările cu sisteme 220/380 V trebuie să aducă tensiunea în limitele 230/400 V (+6, -10)%, iar cele din țările cu sisteme 240/415 V, în limitele 230/400 V (+10, -6)%. La capătul acestei perioade de tranziție trebuie obținută toleranța de 230/400 V ±10%; apoi se va avea în vedere reducerea acestei limite de toleranță. Toate aceste considerente se aplică, de asemenea, în legătură cu sistemele existente de 380/660 V în vederea trecerii la sistemul recomandat de 400/690 V.*

***Tab. A1:*** *Tensiuni standardizate cuprinse între 100 și 1000 V (CEI 60038, Ediția 6.2 2002-07).*

| Seria I Tensiune max. ptr. echipamente (kV) | Sistem nominal de tensiune (kV) | | Seria II Tensiune max. ptr. echipamente (kV) | Sistem nominal de tensiune (kV) |
|---|---|---|---|---|
| 3,6(1) | 3,3(1) | 3(1) | 4,40(1) | 4,16(1) |
| 7,2(1) | 6,6(1) | 6(1) | - | - |
| 12 | 11 | 10 | - | - |
| - | - | - | 13,2(2) | 12,47(2) |
| - | - | - | 13,97(2) | 13,2(2) |
| - | - | - | 14,52(1) | 13,8(1) |
| (17,5) | - | (15) | - | - |
| 24 | 22 | 20 | - | - |
| - | - | - | 26,4(2) | 24,94(2) |
| 36(3) | 33(3) | - | - | - |
| - | - | - | 36,5 | 34,5 |
| 40,5(3) | - | 35(3) | - | - |

*Aceste sisteme sunt în general cu trei conductoare, dacă nu se indică altfel.*
*Valorile de tensiune menționate sunt tensiuni între faze.*
*Valorile indicate în paranteze vor fi considerate nerecomandate.*
*Este recomandat ca aceste valori să nu fie utilizate pentru sistemele ce urmează a fi construite în viitor.*
***Nota 1:*** *Pentru orice țară este recomandat ca raportul dintre două tensiuni nominale adiacente să nu fie mai mic decât 2.*
***Nota 2:*** *În sistemele normale din Seria I tensiunile maximă și minimă nu vor diferi cu mai mult decât ±10% față de tensiunea nominală a sistemului. În sistemele normale din Seria II tensiunea maximă nu va diferi cu mai mult de +5%, iar cea minimă cu mai mult de -10% în raport cu tensiunea nominală a sistemului.*
***(1)*** *Aceste valori nu vor fi utilizate pentru sistemele de distribuție publică.*
***(2)*** *Aceste sisteme sunt, în general cu 4 conductoare.*
***(3)*** *Se are în vedere unificarea acestor valori.*

***Tab. A2:*** *Tensiuni standardizate peste 1 kV, dar nu mai mari de 35 kV (CEI 60038, Ediția 6.2 2002-07).*

## 2.2 Reguli

În cele mai multe țări, instalațiile electrice trebuie să fie în conformitate cu mai mult decât un set de norme elaborate de către Autoritățile Naționale sau de către organisme private recunoscute. Este important de avut în vedere toate aceste prevederi înainte de începerea activității de proiectare.

## 2.3 Standarde

Acest Ghid are la bază standardele CEI în vigoare, în mod special CEI 60364. CEI 60364 a fost elaborat de către un colectiv de experți din domeniul medical și cel al ingineriei din întreaga lume, pe baza experienței împărtășite la nivel internațional. În mod curent, principiile de siguranță ale CEI 60364 și CEI 60479.1 reprezintă fundamentele pentru majoritatea standardelor din domeniu din întreaga lume (a se vedea tabelul de mai jos).

| | |
|---|---|
| **CEI 60038** | Tensiuni standardizate |
| **CEI 60076-2** | Transformatoare de putere - Creșterea temperaturii |
| **CEI 60076-3** | Transformatoare de putere - Nivele de izolare, încercări dielectrice și distanțe de izolare |
| **CEI 60076-5** | Transformatoare de putere - Capacitatea de ținere la scurtcircuit |
| **CEI 60076-10** | Transformatoare de putere - Determinarea nivelului de zgomot |
| **CEI 60146** | Convertoare cu semiconductoare - Condiții generale și convertoare cu comutație de la rețea |
| **CEI 60255** | Relee electrice |
| **CEI 60265-1** | Întreruptoare de înaltă tensiune - Întreruptoare de înaltă tensiune pentru tensiuni peste 1 kV și sub 52 kV |
| **CEI 60269-1** | Siguranțe fuzibile de joasă tensiune - Condiții generale |
| **CEI 60269-2** | Siguranțe fuzibile de joasă tensiune - Condiții suplimentare pentru siguranțe fuzibile în cazul utilizării lor de către persoane neautorizate (siguranțe fuzibile pentru întrebuințări casnice sau similare) |
| **CEI 60282-1** | Siguranțe fuzibile de joasă tensiune - Siguranțe limitatoare de curent |
| **CEI 60287-1-1** | Cabluri electrice - Calculul curentului nominal - Ecuațiile curentului nominal (coeficient de încărcare 100%) și calculul pierderilor - Generalități |
| **CEI 60364** | Instalații electrice pentru clădiri |
| **CEI 60364-1** | Instalații electrice pentru clădiri - Principii fundamentale |
| **CEI 60364-4-41** | Instalații electrice pentru clădiri - Siguranța în exploatare - Protecția împotriva șocului electric |
| **CEI 60364-4-42** | Instalații electrice pentru clădiri - Siguranța în exploatare - Protecția împotriva efectelor termice |
| **CEI 60364-4-43** | Instalații electrice pentru clădiri - Siguranța în exploatare - Protecția împotriva supracurenților |
| **CEI 60364-4-44** | Instalații electrice pentru clădiri - Siguranța în exploatare - Protecția împotriva perturbatiilor electromagnetice și de tensiune |
| **CEI 60364-5-51** | Instalații electrice pentru clădiri - Alegerea și instalarea echipamentelor electrice - Reguli generale |
| **CEI 60364-5-52** | Instalații electrice pentru clădiri - Alegerea și instalarea echipamentelor electrice - Cablajul electric |
| **CEI 60364-5-53** | Instalații electrice pentru clădiri - Alegerea și instalarea echipamentelor electrice - Aparate de comutație și comandă |
| **CEI 60364-5-54** | Instalații electrice pentru clădiri - Alegerea și instalarea echipamentelor electrice - Sisteme de tratare a neutrului |
| **CEI 60364-5-55** | Instalații electrice pentru clădiri - Alegerea și instalarea echipamentelor electrice - Alte echipamente |
| **CEI 60364-5-61** | Instalații electrice pentru clădiri - Verificări și testări - Verificarea inițială |
| **CEI 60364-7-701** | Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Băi sau dușuri |
| **CEI 60364-7-702** | Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Bazine de înot  sau alte bazine |
| **CEI 60364-7-703** | Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Saune |
| **CEI 60364-7-704** | Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Organizări de șantier |
| **CEI 60364-7-705** | Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Instalații electrice pentru agricultură și horticultură |
| **CEI 60364-7-706** | Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Zone cu restricții |
| **CEI 60364-7-707** | Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Cerințe de legare la pământ în instalații cuprinzând sisteme de date |
| **CEI 60364-7-708** | Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Instalații electrice pentru parcuri de rulote și rulote |
| **CEI 60364-7-709** | Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Zone marine și aparate de zbor de agrement |
| **CEI 60364-7-710** | Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Instalații electrice în mediul medical |
| **CEI 60364-7-711** | Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Expoziții, spectacole |
| **CEI 60364-7-712** | Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Sisteme solare - fotovoltaice (PV) de alimentare cu energie |
| **CEI 60364-7-713** | Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Mobilă |
| **CEI 60364-7-714** | Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Sisteme de iluminat exterior |
| **CEI 60364-7-715** | Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Instalații de iluminat de foarte joasă tensiune |
| **CEI 60364-7-717** | Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Unități mobile sau transportabile |
| **CEI 60364-7-740** | Instalații electrice pentru clădiri - Condiții generale pentru instalații electrice în zone speciale - Instalații electrice temporare pentru amenajări de târguri, parcuri de distracții, circuri |
| **CEI 60427** | Întreruptoare de curent alternativ de înaltă tensiune (circuit-breaker) |
| **CEI 60439-1** | Ansambluri de aparataj de comutație și comandă de joasă tensiune. Ansambluri prefabricate - Testate de tip, total sau parțial |
| **CEI 60439-2** | Ansambluri de aparataj de joasă tensiune. Condiții speciale pentru sistemele de bare capsulate |
| **CEI 60439-3** | Ansambluri de aparataj de joasă tensiune. Condiții speciale pentru ansambluri prefabricate de aparataj de joasă tensiune care urmează a fi instalate în locuri în care persoane neautorizate au acces spre a le utiliza - Tablouri de distribuție |
| **CEI 60439-4** | Ansambluri de aparataj de joasă tensiune. Cerințe speciale pentru ansambluri de aparataj de joasă tensiune utilizate pentru organizări de șantier |
| **CEI 60439-5** | Ansambluri de aparataj de joasă tensiune. Condiții speciale pentru ansambluri prefabricate de aparataj de joasă tensiune care urmează a fi instalate în exterior, în locuri publice - Dulapuri de distribuție (cable distribution cabinets) |
| **CEI 60446** | Principii de siguranță ale interfeței om-mașină, marcare și identificare - Identificarea conductoarelor prin culori sau numeric |
| **CEI 60479-1** | Efectele curentului electric asupra organismelor vii - Aspecte generale |
| **CEI 60479-2** | Efectele curentului electric asupra organismelor vii - Aspecte particulare |
| **CEI 60479-3** | Efectele curentului electric asupra organismelor vii - Efectele trecerii curentului electric prin organismele vii |

*(Continuare pe pagina următoare)*

| | |
|---|---|
| **CEI 60529** | Gradele de protecție conferite de carcase (codul IP) |
| **CEI 60644** | Specificații pentru siguranțele fuzibile de înaltă tensiune destinate aplicațiilor de tip motor |
| **CEI 60664** | Coordonarea izolației pentru echipamente în sistemele de joasă tensiune |
| **CEI 60715** | Dimensiuni ale aparatelor de control și comutație. Montare standardizată pe șină a aparatelor de control și comutație în instalații |
| **CEI 60724** | Limitele de temperatură la scurtcircuit pentru cabluri având tensiuni nominale de 1 kV ($U_m$ = 1,2 kV) și 3 kV ($U_m$ = 3,6 kV) |
| **CEI 60755** | Condiții generale pentru dispozitivele de protecție contra curentului rezidual |
| **CEI 60787** | Ghid pentru alegerea siguranțelor fuzibile de înaltă tensiune pentru protecția transformatoarelor |
| **CEI 60831** | Condensatoare autoregeneratoare pentru instalațiile de curent alternativ având tensiuni de până la 1000 V inclusiv - Condiții generale - Performanțe, teste, calibre - Condiții de siguranță - Ghid de instalare și utilizare |
| **CEI 60947-1** | Aparate de comutație și control de joasă tensiune - Condiții generale |
| **CEI 60947-2** | Aparate de comutație și control de joasă tensiune - Întreruptoare automate |
| **CEI 60947-3** | Aparate de comutație și control de joasă tensiune - Întreruptoare, separatoare, separatoare de sarcină și întreruptoare cu siguranțe fuzibile |
| **CEI 60947-4-1** | Aparate de comutație și control de joasă tensiune - Contactoare și startere de motoare - Contactoare electromecanice și startere de motor |
| **CEI 60947-6-1** | Aparate de comutație și control de joasă tensiune - Echipamente multifuncționale - Aparate pentru comutare automată (ATS) |
| **CEI 61000** | Compatibilitatea electromagnetică (EMC) |
| **CEI 61140** | Protecția împotriva șocurilor electrice - Aspecte comune pentru echipamente și instalații |
| **CEI 61557-1** | Siguranța în sistemele de distribuție de joasă tensiune până la 1000 V c.a. și 1500 V c.c. - Echipamente pentru testarea, măsurarea și monitorizarea măsurilor de protecție - Condiții generale |
| **CEI 61557-8** | Siguranța în sistemele de distribuție de joasă tensiune până la 1000 V c.a. și 1500 V c.c. - Echipamente pentru testarea, măsurarea și monitorizarea măsurilor de protecție |
| **CEI 61557-9** | Siguranța în sistemele de distribuție de joasă tensiune până la 1000 V c.a. și 1500 V c.c. - Echipamente pentru localizarea defectelor de izolație în rețelele IT |
| **CEI 61558-2-6** | Siguranța tranformatoarelor de putere, surselor de alimentare și similar - Condiții speciale de siguranță pentru transformatoarele de izolație pentru uz general |
| **CEI 62271-1** | Specificații comune pentru standardele aparatelor de comutație și comandă de înaltă tensiune |
| **CEI 62271-100** | Aparate de comutatie și control de înaltă tensiune - Întreruptoare de curent alternativ de înaltă tensiune |
| **CEI 62271-102** | Aparate de comutatie și control de înaltă tensiune - Separatoare de sarcină și separatoare de punere la pământ |
| **CEI 62271-105** | Aparate de comutatie și control de înaltă tensiune - Separatoare cu fuzibile |
| **CEI 62271-200** | Aparate de comutatie și control de înaltă tensiune - Aparataj de comutație și de comandă în carcasă metalică pentru tensiuni de peste 1 kV până la 52 kV inclusiv |
| **CEI 62271-202** | Posturi de transformare de medie tensiune/joasă tensiune prefabricate |

*(Sfârșit)*

## 2.4 Calitatea și siguranța în funcționare a unei instalații electrice

Calitatea și siguranța în funcționare a unei instalații electrice poate fi asigurată doar în condițiile în care:
- este asigurată conformitatea instalației electrice cu standardele și normele în vigoare, printr-o verificare inițială;
- echipamentele electrice sunt în conformitate cu standardele;
- se realizează verificări periodice ale instalației electrice.

## 2.5 Verificarea inițială a unei instalații electrice

Înaintea conectării unei instalații electrice noi la rețeaua de alimentare trebuie realizate teste preliminare și inspecții vizuale de către furnizorul de energie electrică sau de către agenții săi autorizați.

Aceste teste se fac în conformitate cu reglementările locale (guvernamentale și/sau instituționale) care pot diferi în mare măsură de la o țară la alta. Totuși, principiile tuturor acestor reglementări sunt comune și se bazează pe îndeplinirea riguroasă a condițiilor de siguranță în proiectarea și realizarea instalațiilor electrice.

CEI 60364-6-61 și celelalte standarde asociate incluse în acest ghid se bazează pe consensul internațional legat de aceste teste care trebuie să acopere toate măsurile de siguranță și modul de funcționare impus, în mod normal, de clădirile rezidențiale, social-culturale, administrative și (în mare parte) cele industriale. Multe ramuri industriale au, totuși, reglementări particulare, proprii, legate de un produs particular (petrol, cărbune, gaz natural, etc.). Aceste reglementări particulare nu sunt incluse în acest ghid.

Testele electrice preliminare și inspecțiile vizuale ale instalațiilor electrice din clădiri includ, în mod normal, următoarele:
- verificarea rezistenței de izolației ale tuturor cablurilor și conductoarelor din instalația permanentă, între faze și între faze și pământ;
- verificarea continuității circuitelor de protecție, a conductivității electrice a conductoarelor, a legăturilor echipotențiale;
- verificarea rezistenței de dispersie a prizei de pământ;
- verificarea funcționării corecte a interblocajelor (dacă există);

- verificarea numărului recomandat de prize pe un circuit;
- verificarea secțiunii tuturor conductoarelor cunoscându-se valorile curenților de scurtcircuit și ținând cont de dispozitivele de protecție asociate, materialele și modul de pozare (în aer, în tub, etc.);
- verificarea modului de legare la pământ a tuturor părților metalice expuse;
- verificarea distanțelor de izolare în băi, etc.

Aceste teste și verificări sunt de bază (dar nu exhaustive) pentru majoritatea instalațiilor electrice, în timp ce numeroase alte teste și reguli sunt incluse în regulamentele ce se referă la cazurile particulare, de exemplu: sistemele de tratare a neutrului TN-, TT-, sau IT, instalații având clasa 2 de izolație, circuitele de siguranță cu tensiune foarte joasă, zonele speciale, etc.
Scopul acestui ghid este să atragă atenția asupra unor caracteristici principale ale diferitelor tipuri de instalații și să indice regulile esențiale care trebuie respectate în scopul obținerii unui nivel satisfăcător de calitate, ceea ce înseamnă siguranța și continuitatea în funcționare. Metodele recomandate în acest ghid, modificate, dacă este necesar pentru a corespunde oricăror cerințe impuse de către autoritatea locală furnizoare de energie electrică urmăresc satisfacerea tuturor verificărilor și inspecțiilor preliminare.

## 2.6 Verificarea și testarea periodică a unei instalații

În multe țări instalațiile aferente tuturor clădirilor industriale, socio-administrative și comerciale, împreună cu cele publice trebuie verificate periodic de către agenți autorizați.
**Tabelul A3** arată frecvența recomandată a verificărilor, în conformitate cu tipul de instalație în cauză.

| Tip de instalație | | Frecvența verificărilor |
|---|---|---|
| **Instalații care necesită protecția angajaților** | ■ zone în care există risc de degradare, de incendiu sau de explozie<br>■ instalații provizorii sau organizări de șantier<br>■ zone în care există instalații de MT<br>■ zone restricționate unde se folosește echipament mobil | anual |
| | alte cazuri | la fiecare 3 ani |
| **Instalații în clădiri publice unde este necesară protecția împotriva incendiilor sau a riscului de panică** | în funcție de tipul și de capacitatea clădirii | de la 1 la 3 ani |
| **Instalații în clădiri rezidențiale** | în conformitate cu reglementările locale | |

***Tab. A3:*** *Frecvența recomandată a verificărilor pentru o instalație electrică.*

*Conformitatea echipamentelor cu standardele asociate în vigoare poate fi certificată în mai multe moduri*

## 2.7 Conformitatea cu standardele și specificațiile tehnice a echipamentelor utilizate într-o instalație electrică

### Certificarea conformității

Conformitatea unui echipament cu standardele asociate poate fi certificată astfel:
- printr-un marcaj de conformitate oficial acordat de către organismul de certificare implicat;
- printr-un certificat de conformitate eliberat de un organism de certificare, sau
- printr-o declarație de conformitate a producătorului.

Primele două modalități nu pot fi aplicate pentru echipamentele de medie tensiune.

### Declarația de conformitate

În cazul în care echipamentele în cauză vor fi utilizate de către personal autorizat sau instruit, declarația de conformitate a producătorului (care este inclusă în documentația tehnică) este, de obicei recunoscută ca un atestat valid. Acolo unde, însă, competența producătorului este pusă la îndoială, va fi elaborat un certificat de conformitate pentru a susține declarația producătorului.

**Note: Marcajul CE**
Directivele Europene cer producătorilor sau reprezentanților autorizate să atașeze marcajul CE pe produse, pe răspunderea lor. Aceasta înseamnă că:
- produsele îndeplinesc condițiile legale;
- se presupune că pot fi comercializate în Europa.

Marcajul CE nu reprezintă nici o garanție a originii și nici o marcă de conformitate.

### Marca de conformitate

Marca de conformitate se atașează aparatelor și echipamentelor utilizate, în general de persoane neautorizate și neinstruite (ex.: în cazul aparatelor pentru uz casnic). Marca de conformitate este eliberată de un organism de certificare dacă echipamentul îndeplinește condițiile unui standard aplicabil și după verificarea sistemului de management de calitate al producătorului.

### Certificatul de calitate

Standardele definesc câteva metode pentru asigurarea calității care corespund mai curând câtorva situații, decât diferitelor nivele de calitate.

### Garanția

Un laborator de testare a unor mostre nu poate certifica conformitatea unui întreg lot de fabricație: aceste teste se numesc teste de tip. În cazul anumitor teste care să ateste conformitatea cu standardele, mostrele sunt distruse (ex.: cazul fuzibilelor). Doar producătorul poate certifica faptul că produsele au, de fapt, caracteristicile specificate.
Certificatul de asigurare a calității are ca scop să completeze declarația inițială sau certificatul de conformitate.
Ca o dovadă a faptului că toate măsurile necesare asigurării calității fabricației au fost luate, producătorul obține certificarea sistemului de control a calității care monitorizează fabricația produsului în cauză. Aceste certificate sunt elaborate de organisme specializate în controlul calității și au la bază standardul internațional ISO 9000.
Aceste standarde definesc trei modele de bază de control a asigurării calității corespunzând mai curând unor situații diferite decât unor nivele diferite de calitate:
- Modelul 3 definește asigurarea calității prin inspectarea și verificarea produsului finit;
- Modelul 2 include suplimentar inspectării și verificării produsului finit, verificarea procesului de fabricație. De exemplu, această metodă se aplică producătorilor de fuzibile întrucât, în acest caz, nu poate fi verificată calitatea produsului fără distrugerea sa;
- Modelul 1 corespunde modelului 2, dar cu cerința suplimentară ca și calitatea procesului de proiectare să fie riguros urmărită; de exemplu, acolo unde nu se intenționează să se fabrice și să se testeze prototipuri (cazul execuției unui produs la cererea beneficiarului, în conformitate cu cerințele acestuia).

## 2.8 Condiții de mediu

Sistemele de management al mediului pot fi certificate de către un organism independent dacă acestea corespund cerințelor stipulate în ISO 14001. Acest tip de certificare se referă, în special, la locațiile industriale dar pot fi, de asemenea, acordate mediilor unde produsele sunt proiectate.
Un “eco-design” este o abordare de dezvoltare durabilă cu obiective ca proiectarea produselor/serviciilor să corespundă cât mai bine cerințelor clienților, în același timp reducându-li-se impactul asupra mediului în timpul întregului lor ciclu de viață. Metodologiile utilizate în acest scop conduc la alegerea arhitecturii echipamentelor împreună cu componentele și materialele ținând cont de influența produsului asupra mediului pe parcursul întregii sale durate de viață (ex.: producție, transport, distribuție, după perioada de utilizare, etc.).

În Europa au fost publicate două directive:
- Directiva RoHS (Restriction of Hazardous Substances, restricții ale substanțelor periculoase), care se aplică începând cu 01 iulie 2006 (intrarea în vigoare a fost 13 februarie 2003, dar data de aplicare a fost 01 iulie 2006), are ca scop eliminarea a șase substanțe periculoase: plumbul, mercurul, cadmiul, crom hexavalent, bifeniluri polybrominate (PBB) sau eteruri difenil polybrominate (PBDE).

■ Directiva WEEE (Waste of Electrical and Electronic Equipment - deșeuri ale echipamentelor electrice și electronice), care se aplică începând cu august 2005 (intrarea în vigoare a fost 13 februarie 2003, dar data de aplicare a fost 13 august 2005), are ca scop urmărirea deșeurilor la scoaterea din uz a echipamentelor de uz casnic și nu numai.
În alte părți ale lumii, noi inițialive legislative urmăresc aceleași obiective.
Împreună cu acțiunile producătorilor orientate în favoarea fabricației unor produse “eco-design” contribuția întregii instalații electrice la o dezvoltare durabilă poate fi semnificativ mărită prin modul de proiectare a instalației. Astfel, s-a arătat că o concepție optimă a instalației electrice care ține cont de condițiile de funcționare, de amplasare a posturilor de transformare MT/JT și de sistemul de distribuție (tablouri electrice, bare capsulate, cabluri) poate conduce la o reducere substanțială a impactului asupra mediului (reducerea consumurilor de materii prime, de energie, etc.).

A se vedea capitolul D în legătură cu amplasarea postului de transformare și a tabloului general de distribuție de joasă tensiune.

# 3 Tipuri de sarcini - Caracteristici



*Examinarea cererilor de putere aparentă a diferitelor tipuri de sarcini: un pas preliminar necesar în proiectarea unei instalații de joasă tensiune.*

Analiza valorii puterii aparente absorbite de fiecare receptor permite stabilirea:
- cererii declarate de putere care determină contractul de furnizare de energie electrică;
- puterii nominale a transformatorului MT/JT, acolo unde este necesar (permițând eventuale creșteri de consum);
- valorile curentului de sarcină la nivelul fiecărui tablou de distribuție.

*Puterea nominală a unui motor, exprimată în kW ($P_n$) este o măsură a puterii sale mecanice echivalente la ieșire.*
*Puterea aparentă, exprimată în kVA, ($P_a$) furnizată motorului este funcție de puterea nominală a motorului, de randamentul și de factorul de putere al motorului.*

$$Pa = \frac{Pn}{\eta \cos \varphi}$$

## 3.1 Motoare asincrone

### Curent absorbit

Curentul nominal Ia al unui motor se calculează cu următoarele formule:
- motor trifazat: $I_a = P_n \times 1.000/(\sqrt{3} \times U \times \eta \times \cos \varphi)$
- motor monofazat: $I_a = P_n \times 1.000/(U \times \eta \times \cos \varphi)$,

unde:
- $I_a$: curentul nominal al motorului (A)
- $P_n$: puterea nominală a motorului (kW)
- U: tensiunea de linie, în cazul motorului trifazat, respectiv tensiunea la borne, în cazul motorului monofazat (V). Un motor monofazat poate fi conectat între o fază și nul sau între două faze
- $\eta$: randamentul motorului, exprimat ca kW ieșire/kW intrare
- $\cos \varphi$: factorul de putere al motorului, exprimat ca: kW intrare/kVA intrare

**Curentul la conectare și reglajul protecțiilor**
- Valoarea de vârf a curentului la conectare al unui motor poate fi foarte mare: valorile tipice sunt între 12 la15 ori curentul efectiv al valorii nominale $I_{nm}$. Uneori această valoare poate ajunge la de 25 de ori $I_{nm}$.
- Întreruptoarele automate Merlin Gerin, contactoarele Telemecanique și releele termice sunt proiectate astfel încât să suporte porniri de motoare având curenți de pornire de valori foarte mari (curenți de pornire de vârf de până la 19 ori $I_{nm}$).
- Declanșările intempestive ale protecțiilor la supracurenți în cazul pornirii motoarelor semnifică existența unor curenți la pornire mai mari decât limitele normale. Ca urmare, anumite aparate de comutație pot fi intens solicitate, prin urmare durata lor de viață se va reduce sau chiar se pot distruge. Pentru a evita aceste lucruri se poate avea în vedere o supradimensionare a aparatelor de comutație.
- Aparatele de comutație Merlin Gerin și Telemecanique sunt proiectate pentru a asigura protecția starterelor de motoare împotriva curenților de scurtcircuit. În funcție de riscul de defect, există tabele care arată combinația de întreruptor automat, releu termic și contactor care trebuie utilizată în funcție de puterea motorului, pentru a obține coordonare tip 1 sau 2 (vezi capitolul N).

### Curentul de pornire al motorului

Deși pe piața pot fi găsite motoare cu randament ridicat, curenții de pornire ai motoarelor performante au valori la fel de mari ca cei ai motoarelor standard.
Prin utilizarea pornirilor stea-triunghi, a soft-starterelor sau a variatoarelor de turație se pot reduce semnificativ valorile acestor curenți de pornire (exemplu: 4 $I_a$ în loc de 7,5 $I_a$).

### Compensarea puterii reactive furnizate motoarelor asincrone

Este, în general, avantajos din motive tehnice și financiare să se reducă curentul furnizat motoarelor. Aceasta poate fi realizată utilizând condensatoare, fără consecințe asupra puterii mecanice a motoarelor.
Aplicarea acestui principiu în funcționarea motoarelor asincrone este cunoscută, în general în termeni de "compensarea energiei reactive" sau "corecția factorului de putere".
Așa cum se prezintă în capitolul L, puterea aparentă exprimată în kVA care se furnizează motorului asincron poate fi semnificativ redusă prin utilizarea unor condensatoare conectate în paralel. Reducerea puterii aparente (kVA) furnizate înseamnă, în mod corespunzător și reducerea curentului de lucru (atât timp cât tensiunea de alimentare rămane aceeași).
Compensarea puterii reactive este, în mod special, recomandată pentru motoarele care funcționează la putere redusă perioade lungi de timp.

Cum s-a menționat mai sus, $\cos \varphi = \frac{\text{kW intrare}}{\text{kVA intrare}}$ deci o reducere a puterii aparente la intrare va conduce la creșterea (îmbunătățirea) valorii $\cos \varphi$.

Curentul furnizat motorului după corecția factorului de putere, $I'_a$, este dat de:

$$I'_a = I_a \frac{\cos \varphi}{\cos \varphi'}$$

unde cos φ este factorul de putere înainte de compensare, iar cos φ' este factorul de putere după compensare, $I_a$ fiind curentul inițial, înainte de compensare.
De menționat faptul că variatoarele de viteză realizează și compensarea energiei reactive.

**Tabelul A4** de mai jos indică, în funcție de puterea motorului, curenții standard nominali ai motorului, la diferite valori ale tensiunii de alimentare.

| kW | CP | 230 V | 380 - 415 V | 400 V | 440 - 480 V | 500 V | 690 V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A | A | A | A | A | A |
| 0,18 | - | 1,0 | - | 0,6 | - | 0,48 | 0,35 |
| 0,25 | - | 1,5 | - | 0,85 | - | 0,68 | 0,49 |
| 0,37 | - | 1,9 | - | 1,1 | - | 0,88 | 0,64 |
| - | 1/2 | - | 1,3 | - | 1,1 | - | - |
| 0,55 | - | 2,6 | - | 1,5 | - | 1,2 | 0,87 |
| - | 3/4 | - | 1,8 | - | 1,6 | - | - |
| - | 1 | - | 2,3 | - | 2,1 | - | - |
| 0,75 | - | 3,3 | - | 1,9 | - | 1,5 | 1,1 |
| 1,1 | - | 4,7 | - | 2,7 | - | 2,2 | 1,6 |
| - | 1-1/2 | - | 3,3 | - | 3,0 | - | - |
| - | 2 | - | 4,3 | - | 3,4 | - | - |
| 1,5 | - | 6,3 | - | 3,6 | - | 2,9 | 2,1 |
| 2,2 | - | 8,5 | - | 4,9 | - | 3,9 | 2,8 |
| - | 3 | - | 6,1 | - | 4,8 | - | - |
| 3,0 | - | 11,3 | - | 6,5 | - | 5,2 | 3,8 |
| 3,7 | - | - | - | - | - | - | - |
| 4 | - | 15 | 9,7 | 8,5 | 7,6 | 6,8 | 4,9 |
| 5,5 | - | 20 | - | 11,5 | - | 9,2 | 6,7 |
| - | 7-1/2 | - | 14,0 | - | 11,0 | - | - |
| - | 10 | - | 18,0 | - | 14,0 | - | - |
| 7,5 | - | 27 | - | 15,5 | - | 12,4 | 8,9 |
| 11 | - | 38,0 | - | 22,0 | - | 17,6 | 12,8 |
| - | 15 | - | 27,0 | - | 21,0 | - | - |
| - | 20 | - | 34,0 | - | 27,0 | - | - |
| 15 | - | 51 | - | 29 | - | 23 | 17 |
| 18,5 | - | 61 | - | 35 | - | 28 | 21 |
| - | 25 | - | 44 | - | 34 | - | |
| 22 | - | 72 | - | 41 | - | 33 | 24 |
| - | 30 | - | 51 | - | 40 | - | - |
| - | 40 | - | 66 | - | 52 | - | - |
| 30 | - | 96 | - | 55 | - | 44 | 32 |
| 37 | - | 115 | - | 66 | - | 53 | 39 |
| - | 50 | - | 83 | - | 65 | - | - |
| - | 60 | - | 103 | - | 77 | - | - |
| 45 | - | 140 | - | 80 | - | 64 | 47 |
| 55 | - | 169 | - | 97 | - | 78 | 57 |
| - | 75 | - | 128 | - | 96 | - | - |
| - | 100 | - | 165 | - | 124 | - | - |
| 75 | - | 230 | - | 132 | - | 106 | 77 |
| 90 | - | 278 | - | 160 | - | 128 | 93 |
| - | 125 | - | 208 | - | 156 | - | - |
| 110 | - | 340 | - | 195 | | 156 | 113 |
| - | 150 | - | 240 | - | 180 | - | - |
| 132 | - | 400 | - | 230 | - | 184 | 134 |
| - | 200 | - | 320 | - | 240 | - | - |
| 150 | - | - | - | - | - | - | - |
| 160 | - | 487 | - | 280 | - | 224 | 162 |
| 185 | - | - | - | - | - | - | - |
| - | 250 | - | 403 | - | 302 | - | - |
| 200 | - | 609 | - | 350 | - | 280 | 203 |
| 220 | - | - | - | - | - | - | - |
| - | 300 | - | 482 | - | 361 | - | - |
| 250 | - | 748 | - | 430 | - | 344 | 250 |
| 280 | - | - | - | - | - | - | - |
| - | 350 | - | 560 | - | 414 | - | - |
| - | 400 | - | 636 | - | 474 | - | - |
| 300 | - | - | - | - | - | - | - |

*Tab. A4: Puteri și curenți nominali pentru motoare asincrone (continuare pe pagina următoare).*

| kW | CP | 230 V<br>A | 380 - 415 V<br>A | 400 V<br>A | 440 - 480 V<br>A | 500 V<br>A | 690 V<br>A |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 315 | - | 940 | - | 540 | - | 432 | 313 |
| - | 540 | - | - | - | 515 | - | - |
| 335 | - | - | - | - | - | - | - |
| 355 | - | 1061 | - | 610 | - | 488 | 354 |
| - | 500 | - | 786 | - | 590 | - | - |
| 375 | - | - | - | - | - | - | - |
| 400 | - | 1200 | - | 690 | - | 552 | 400 |
| 425 | - | - | - | - | - | - | - |
| 450 | - | - | - | - | - | - | - |
| 475 | - | - | - | - | - | - | - |
| 500 | - | 1478 | - | 850 | - | 680 | 493 |
| 530 | - | - | - | - | - | - | - |
| 560 | - | 1652 | - | 950 | - | 760 | 551 |
| 600 | - | - | - | - | - | - | - |
| 630 | - | 1844 | - | 1060 | - | 848 | 615 |
| 670 | - | - | - | - | - | - | - |
| 710 | - | 2070 | - | 1190 | - | 952 | 690 |
| 750 | - | - | - | - | - | - | - |
| 800 | - | 2340 | - | 1346 | - | 1076 | 780 |
| 850 | - | - | - | - | - | - | - |
| 900 | - | 2640 | - | 1518 | - | 1214 | 880 |
| 950 | - | - | - | - | - | - | - |
| 1000 | - | 2910 | - | 1673 | - | 1339 | 970 |

***Tab. A4:*** *Puteri și curenți nominali pentru motoare asincrone (sfârșit).*

## 3.2 Sarcini de tip rezistiv: sisteme de încălzire și lămpi cu incandescență (convenționale sau cu halogen)

Curentul absorbit de sarcini tip aparate de încălzire sau lămpi cu incandescență se calculează rapid în funcție de puterea nominală dată de producător (cos $\varphi$ = 1) (vezi **Tab. A5**).

| Putere nominală (kW) | Curent nominal (A) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | monofazat 127 V | monofazat 230 V | trifazat 230 V | trifazat 400 V |
| 0,1 | 0,79 | 0,43 | 0,25 | 0,14 |
| 0,2 | 1,58 | 0,87 | 0,50 | 0,29 |
| 0,5 | 3,94 | 2,17 | 1,26 | 0,72 |
| 1 | 7,9 | 4,35 | 2,51 | 1,44 |
| 1,5 | 11,8 | 6,52 | 3,77 | 2,17 |
| 2 | 15,8 | 8,70 | 5,02 | 2,89 |
| 2,5 | 19,7 | 10,9 | 6,28 | 3,61 |
| 3 | 23,6 | 13 | 7,53 | 4,33 |
| 3,5 | 27,6 | 15,2 | 8,72 | 5,05 |
| 4 | 31,5 | 17,4 | 10 | 5,77 |
| 4,5 | 35,4 | 19,6 | 11,3 | 6,5 |
| 5 | 39,4 | 21,7 | 12,6 | 7,22 |
| 6 | 47,2 | 26,1 | 15,1 | 8,66 |
| 7 | 55,1 | 30,4 | 17,6 | 10,1 |
| 8 | 63 | 34,8 | 20,1 | 11,5 |
| 9 | 71 | 39,1 | 22,6 | 13 |
| 10 | 79 | 43,5 | 25,1 | 14,4 |

***Tab. A5:*** *Curentul nominal al sistemelor de încălzire rezistive și al lămpilor cu incandescență (convenționale sau cu halogen).*

Curentul nominal se calculează cu relaţiile:

- pentru un sistem trifazat: $Ia = \frac{Pn}{\sqrt{3}\ U}$ (1)
- pentru un sistem monofazat: $Ia = \frac{Pn}{U}$ (1)

unde U este tensiunea de alimentare la bornele echipamentului.
Pentru lămpile cu incandescenţă, utilizarea halogenului crează o sursă de lumină mult mai concentrată. Fluxul luminos este superior iar durata de viaţă a lămpii se dublează.
**Notă:** La conectare, filamentul rece crează un vârf de curent de valoare foarte mare dar de durată foarte mică.

## Lămpi fluorescente şi echipamentul aferent

Puterea $P_n$ (W) indicată pe lampa fluorescentă nu include şi puterea disipată în balast. Curentul absorbit este dat de:

$$Ia = \frac{P_{balast} + P_n}{U \cos \varphi}$$

unde U este tensiunea de alimentare la bornele echipamentului.
Dacă nu este indicată valoarea pierderilor în balast, aceasta se va considera 25% din $P_n$.

## Lămpi fluorescente tubulare standard

Având (dacă nu este indicat altfel):
- cos φ = 0,6 fără condensator pentru compensarea(2) factorului de putere (FP);
- cos φ = 0,86 cu compensarea(2) factorului de putere (FP) (unul sau două tuburi);
- cos φ = 0,96 pentru balast electronic.

Dacă nu sunt indicate pierderi de putere pentru balast, o valoare de 25% din $P_n$ poate fi luată în considerare.
**Tabelul A6** indică aceste valori pentru diferite tipuri de balast.

| Aranjamentul lămpilor, starterelor şi balastului | Putere lampă (W)(3) | Curent (A) la 230 V | | | Lung. tub (cm) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Balast electromagnetic | | Balast electronic | |
| | | Fără condens. pentru compensare | Cu condens. pentru compensare | | |
| Un singur tub | 18 | 0,20 | 0,14 | 0,10 | 60 |
| | 36 | 0,33 | 0,23 | 0,18 | 120 |
| | 58 | 0,50 | 0,36 | 0,28 | 150 |
| Două tuburi | 2 x 18 | | 0,28 | 0,18 | 60 |
| | 2 x 36 | | 0,46 | 0,35 | 120 |
| | 2 x 58 | | 0,72 | 0,52 | 150 |

***(3)** Puterea în W indicată pe lampă.*

***Tab. A6:** Curentul nominal şi puterea consumată de către lămpile fluorescente uzuale (la 230 V, 50 Hz).*

## Lămpi fluorescente compacte

Lămpile fluorescente compacte au aceleaşi caracteristici în ce priveşte durata de viaţă şi economia de energie ca şi lămpile fluorescente clasice.
Ele sunt utilizate în locurile publice permanent iluminate (ex.: holuri, baruri, coridoare de trecere) şi pot fi montate în locuri altfel iluminate cu lămpi cu incandescenţă (vezi **Tab. A7** de pe pagina următoare).

***(1)** $I_a$ exprimat în A, U exprimat în V, $P_n$ exprimat în W. Dacă $P_n$ este exprimat în kW, atunci relaţia se înmulţeşte cu 1.000.*
***(2)** "Corecţia factorului de putere" se referă adesea la "compensare" în terminologia lămpilor de iluminat cu descărcare.*
*Cos φ este aproximativ 0,95 (valorile "zero" ale tensiunii şi curentului sunt aproape fazate), dar factorul de putere este 0,5 datorită formei în impulsuri a curentului, al cărui vârf apare „târziu", la fiecare jumătate de perioadă.*

# 3 Tipuri de sarcini - Caracteristici

| Tip lampă | Putere lampă (W) | Curent la 230 V (A) |
|---|---|---|
| Cu balast separat | 10 | 0,080 |
| | 18 | 0,110 |
| | 26 | 0,150 |
| Cu balast incorporat | 8 | 0,075 |
| | 11 | 0,095 |
| | 16 | 0,125 |
| | 21 | 0,170 |

*Tab. A7: Curentul absorbit și puterea consumată de către lampile fluorescente compacte (la 230 V, 50 Hz).*

*Puterea în W indicată pe tubul unei lămpi cu descărcări nu include și puterea disipată în balast.*

## Lămpi cu descărcări

**Tabelul A8** indică curentul nominal al unei lămpi echipate cu aparatajul auxiliar. Funcționarea acestor lămpi depinde de descărcarea electrică luminiscentă care are loc într-un gaz sau vaporii unui compus metalic, închis ermetic într-o incintă transparentă, la o presiune prestabilită. Aceste lămpi au un timp de pornire lung în timpul căruia curentul $I_a$ este mai mare decât curentul nominal $I_n$.
Puterea și curentul sunt date pentru diferite tipuri de lămpi (valorile medii tipice pot varia ușor de la un producător la altul).

| Tip lampă (W) | Putere cerută (W) la 230 V | 400 V | Curent In (A) FP necomp. 230 V | 400 V | FP comp. 230 V | 400 V | Pornire Ia/In | Perioadă (min.) | Eficiență luminoasă (lm/W) | Durată medie de viață (h) | Utilizare |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Lămpi cu descărcări în vapori de sodiu de înaltă presiune** | | | | | | | | | | | |
| 50 | 60 | | 0,76 | | 0,3 | | 1,4 la 1,6 | 4 la 6 | 80 la 120 | 9000 | ■ iluminat holuri mari<br>■ iluminat exterior<br>■ iluminat public |
| 70 | 80 | | 1 | | 0,45 | | | | | | |
| 100 | 115 | | 1,2 | | 0,65 | | | | | | |
| 150 | 168 | | 1,8 | | 0,85 | | | | | | |
| 250 | 274 | | 3 | | 1,4 | | | | | | |
| 400 | 431 | | 4,4 | | 2,2 | | | | | | |
| 1000 | 1055 | | 10,45 | | 4,9 | | | | | | |
| **Lămpi cu descărcări în vapori de sodiu de joasă presiune** | | | | | | | | | | | |
| 26 | 34,5 | | 0,45 | | 0,17 | | 1,1 la 1.3 | 7 la 15 | 100 la 200 | 8000 la 12000 | ■ iluminat autostrăzi<br>■ iluminat de siguranță<br>■ platforme, depozite |
| 36 | 46,5 | | | | 0,22 | | | | | | |
| 66 | 80,5 | | | | 0,39 | | | | | | |
| 91 | 105,5 | | | | 0,49 | | | | | | |
| 131 | 154 | | | | 0,69 | | | | | | |
| **Lămpi cu descărcari în vapori de mercur + halogeni metalici** | | | | | | | | | | | |
| 70 | 80,5 | | 1 | | 0,40 | | 1,7 | 3 la 5 | 70 la 90 | 6000 | ■ iluminat suprafețe foarte mari cu ajutorul proiectoarelor (ex.: stadioane, etc.) |
| 150 | 172 | | 1,80 | | 0,88 | | | | | 6000 | |
| 250 | 276 | | 2,10 | | 1,35 | | | | | 6000 | |
| 400 | 425 | | 3,40 | | 2,15 | | | | | 6000 | |
| 1000 | 1046 | | 8,25 | | 5,30 | | | | | 6000 | |
| 2000 | 2092 | 2052 | 16,50 | 8,60 | 10,50 | 6 | | | | 2000 | |
| **Lămpi cu descărcări în vapori de mercur cu substanță fluorescentă (fluorescent bulb)** | | | | | | | | | | | |
| 50 | 57 | | 0,6 | | 0,30 | | 1,7 la 2 | 3 la 6 | 40 la 60 | 8000 la 12000 | ■ ateliere cu plafoane foarte înalte (ex.: holuri, hangare, etc.)<br>■ iluminat exterior<br>■ iluminat de intensitate redusă(1) |
| 80 | 90 | | 0,8 | | 0,45 | | | | | | |
| 125 | 141 | | 1,15 | | 0,70 | | | | | | |
| 250 | 268 | | 2,15 | | 1,35 | | | | | | |
| 400 | 421 | | 3,25 | | 2,15 | | | | | | |
| 700 | 731 | | 5,4 | | 3,85 | | | | | | |
| 1000 | 1046 | | 8,25 | | 5,30 | | | | | | |
| 2000 | 2140 | 2080 | 15 | | 11 | 6,1 | | | | | |

***(1)** Înlocuite cu lămpi cu vapori de sodiu.*
***Notă:** Aceste lămpi sunt sensibile la căderile de tensiune. Ele se sting dacă tensiunea de alimentare scade sub 50% din valoarea nominală și nu se mai reaprind înainte de răcire (aprox. 4 minute).*
***Notă:** Lămpile cu vapori de sodiu de joasă presiune au o eficiență luminoasă superioară altor tipuri de lămpi. Totuși, utilizarea acestui tip de lampă este restricționată întrucât datorită culorii luminii emise, galben-oranj, factorul de redare a culorii este scăzut.*

*Tab. A8: Curentul absorbit de diferite tipuri de lămpi cu descărcări.*

# 4 Puterea cerută de o instalație electrică

Pentru a proiecta o instalație electrică, trebuie stabilită sarcina maximă, reală, posibilă, care va fi solicitată sistemului de alimentare.
A proiecta o instalație electrică doar pe baza sumei aritmetice a tuturor sarcinilor existente este absolut neeconomic și dovedește o insuficientă practică inginerească.
Scopul acestui capitol este de a arăta modul în care pot fi stabiliți coeficientul de simultaneitate (funcționarea nesimultană a sarcinilor) și coeficientul de utilizare (de ex. un motor nu funcționează, de obicei, la întreaga sa capacitate de încărcare) al tuturor receptorilor existenți. Valorile recomandate se bazează pe experiență și pe înregistrări ale consumurilor unor instalații existente. Suplimentar față de datele de proiectare aferente fiecărui circuit, rezultatele vor furniza o valoare globală pentru întreaga instalație, pentru care se va solicita alimentarea cu energie electrică (din rețeaua de distribuție, transformator MT/JT sau grup electrogen).

*Puterea instalată este suma puterilor nominale ale tuturor receptorilor din instalație. În practică, aceasta nu reprezintă totusi, puterea necesară a fi furnizată.*

## 4.1 Puterea instalată (kW)

Marcajul majorității echipamentelor si aparatelor electrice indică puterea lor nominală ($P_n$).
Puterea instalată este suma puterilor nominale ale sarcinilor din instalație. În practică, aceasta nu reprezintă totuși, puterea necesară a fi furnizată.
Acesta este cazul motoarelor electrice în care puterea nominală se referă la puterea livrată la arborele mașinii.
Puterea consumată de motor este, evident mai mare.
Lămpile fluorescente și cu descărcări în vapori de gaze, asociate cu balasturi reprezintă alte cazuri în care puterea nominală indicată pe lampă este mai mică decât puterea consumată de lampă împreună cu balastul aferent.
Metodele de stabilire a puterilor consumate de motoare și corpuri de iluminat au fost prezentate în secțiunea 3 a acestui capitol.
Cererea de putere (kW) este necesară pentru alegerea puterii nominale a grupului electrogen sau a bateriilor. Pentru o sursă de putere provenită de la rețeaua publică de joasă tensiune sau printr-un transformator MT/JT, se vorbește despre puterea aparentă, în kVA.

*Puterea aparentă instalată se presupune a fi suma aritmetică a puterilor aparente a sarcinilor. Puterea maximă estimată, în kVA, necesară a fi furnizată nu este egală, totuși cu puterea totală instalată, în kVA.*

## 4.2 Puterea aparentă instalată (kVA)

Puterea aparentă instalată se presupune a fi suma aritmetică a puterilor aparente a sarcinilor. Puterea maximă estimată, în kVA, necesară a fi furnizată nu este egală, totuși cu puterea totală instalată, în kVA.
Puterea aparentă a unei sarcini (care poate fi un singur aparat) se obține din puterea sa nominală corectată, dacă este necesar, așa cum s-a menționat în cazul motoarelor, etc.), prin aplicarea următorilor coeficienți:

$\eta$ = randament = kW ieșire/kW intrare

cos $\varphi$ = factor de putere = kW/kVA

Puterea aparentă kVA cerută de sarcină va fi:

$P_a = P_n/(\eta \times \cos \varphi)$

Pornind de la această valoare, curentul nominal Ia (A)[1] absorbit de sarcină va fi:

■ $Ia = \dfrac{Pa \times 10^3}{V}$

pentru o sarcină monofazată conectată între fază și neutru

■ $Ia = \dfrac{Pa \times 10^3}{\sqrt{3} \times U}$

pentru o sarcină trifazată echilibrată, unde:

V = tensiunea de fază între fază și neutru (V)
U = tensiunea dintre faze (V)

Se menționează totuși că, teoretic, totalul puterii aparente, kVA nu este suma aritmetică a puterilor individuale calculate, kVA (dacă nu toate sarcinile au același factor de putere).
Este o practică comună de a face o simplă sumă aritmetică; rezultatul va da o valoare în kVA care este superioară valorii reale, reprezentând o "marjă de proiectare". Când nu se cunosc, parțial sau total caracteristicile sarcinilor, valorile indicate în **Tab. A9** pot fi utilizate pentru a da o valoare estimată aproximativă a puterii aparente cerute, VA (sarcinile individuale sunt, în general, prea mici pentru a fi exprimate în kVA sau kW). Estimările sarcinilor de iluminat se fac pe baza unității de suprafață de 500 $m^2$.

***(1)*** *Pentru o mai bună precizie trebuie să se țină seama de coeficientul de maximă utilizare, așa cum va fi explicat pe pagina următoare, în 4.3.*

| Lămpi fluorescente (corectate la cos φ = 0,86) | | |
|---|---|---|
| **Tip de aplicație** | **Putere aparentă estimată (VA/m²) pentru o lampă fluorescentă cu reflector industrial(1)** | **Nivel mediu de iluminare (lux = lm/m²)** |
| Drumuri și autostrăzi, suprafețe de depozitare, lucrări intermitente | 7 | 150 |
| Condiții de lucru speciale: fabricarea și asamblarea pieselor foarte grele | 14 | 300 |
| Activitate de zi cu zi: birouri | 24 | 500 |
| Ateliere de asamblare de înaltă precizie | 41 | 800 |
| **Circuite de putere** | | |
| **Tip de aplicație** | **Putere estimată (VA/m²)** | |
| Aer comprimat pentru stații de pompare | 3 la 6 | |
| Ventilarea spațiilor | 23 | |
| Radiatoare prin convecție: | | |
| ■ case | 115 la 146 | |
| ■ apartamente | 90 | |
| Birouri | 25 | |
| Dispecerate | 50 | |
| Ateliere de asamblare | 70 | |
| Ateliere de service auto | 300 | |
| Ateliere de pictură | 350 | |
| Instalații de tratamente termice | 700 | |

***(1)** Ex.: Pentru o lampă de 65 W (fără balast), fluxul luminos este de 5100 $l_m$, eficiența luminoasă a lămpii = 78,5 $l_m$/W.*

***Tab. A9:** Estimarea puterii aparente instalate.*

## 4.3 Estimarea cererii maxime de putere aparentă

Nu toate sarcinile individuale funcționează neapărat la puterea nominală totală și nici în același timp. Coeficienții $k_u$ și $k_s$ permit determinarea cererii reale de putere și putere aparentă în vederea dimensionării instalației.

### Coeficientul de utilizare ($k_u$)

În condiții normale de funcționare, puterea consumată de sarcină este, uneori, mai mică decât cea indicată ca fiind puterea nominală ceea ce justifică aplicarea unui coeficient de utilizare ($k_u$) pentru estimarea valorii reale.
Acest coeficient trebuie aplicat pentru fiecare sarcină, cu o atenție specială în ceea ce privește motoarele electrice care funcționează foarte rar la capacitatea nominală. În instalațiile industriale acest coeficient poate fi estimat, pentru motoare, la cca. 0,75.
Pentru lămpile cu incandescență, acest coeficient este totdeauna egal cu 1.
Pentru circuitele de priză, acest coeficient depinde în totalitate de tipul de echipament ce este conectat la priză.

### Coeficientul de simultaneitate ($k_s$)

Este cunoscut din practică faptul că sarcinile electrice ale unei instalații electrice nu funcționează niciodată simultan; de aceea, în scop de estimare, este luat totdeauna în calcul un coeficient de simultaneitate ($k_s$).
Coeficientul de simultaneitate se aplică pentru un grup de sarcini (ex.: alimentate de la aceeași bară de tablou general sau secundar). Valoarea acestui factor este responsabilitatea proiectantului, deoarece impune cunoașterea detaliată a instalației și a condițiilor în care fiecare circuit funcționează. Din acest motiv nu este posibil să se recomande anumite valori pentru aplicații generale.

### Coeficientul de simultaneitate pentru un bloc de apartamente

Câteva valori tipice aplicabile pentru consumatori casnici alimentați la 230/400 V (trifazat, 4 conductoare) sunt prezentate în **Tab. A10**. În cazul consumatorilor utilizând instalații electrice de încălzit cu acumularea căldurii pentru încălzirea spațiilor, se recomandă un coeficient de simultaneitate de 0,8 indiferent de numărul de consumatori.

| Număr de consumatori | Coeficient de simultaneitate ($k_s$) |
|---|---|
| 2 la 4 | 1 |
| 5 la 9 | 0,78 |
| 10 la 14 | 0,63 |
| 15 la 19 | 0,53 |
| 20 la 24 | 0,49 |
| 25 la 29 | 0,46 |
| 30 la 34 | 0,44 |
| 35 la 39 | 0,42 |
| 40 la 49 | 0,41 |
| Peste 50 | 0,40 |

*Tab. A10: Coeficienți de simultaneitate într-un bloc de apartamente.*

**Exemplu** (vezi **Fig. A11**):
Pentru un bloc de apartamente de 5 nivele, cu 25 de apartamente, fiecare având o putere instalată de 6 kVA. Puterea instalată totală a clădirii este:
36 + 24 + 30 + 36 + 24 = 150 kVA.
Puterea aparentă necesară clădirii este: 150 x 0,46 = 69 kVA.
Din **Fig. A10** este posibil să se determine valoarea absolută a curentului în diferite secțiuni ale tabloului general care alimentează toate etajele. Referitor la coloanele electrice verticale alimentate de la parter, secțiunea acestora poate fi, evident, redusă de la etajele inferioare către cele superioare.
Aceste schimbări ale secțiunii conductoarelor se realizează, în mod convențional, la un interval de 3 etaje.
În exemplu, curentul coloanei verticale, la nivelul parterului este:

$$\frac{150 \text{ x } 0{,}46 \text{ x } 10^3}{400\ \sqrt{3}} = 100 \text{ A}$$

Curentul de intrare la nivelul etajului al treilea este:

$$\frac{(36+24) \text{ x } 0{,}63 \text{ x } 10^3}{400\ \sqrt{3}} = 55 \text{ A}$$

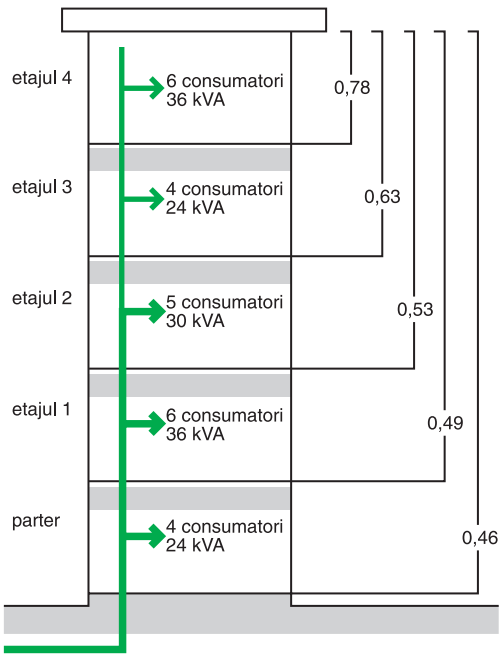



*Fig. A11: Aplicarea coeficientului de simultaneitate ($k_s$) unui bloc de apartamente cu 5 nivele.*

# 4 Puterea cerută de o instalație electrică

## Coeficientul de simultaneitate pentru un tablou de distribuție

**Tabelul A12** prezintă valorice ipotetice ale lui $k_s$ pentru un tablou de distribuție care alimentează un număr de circuite pentru care nu există nici o indicație asupra modului în care sarcina totală se împarte între ele.
Dacă circuitele sunt preponderent circuite de iluminat este prudent să se adopte valori ale $k_s$ apropiate de 1.

| Număr de circuite | Coeficient de simultaneitate ($k_s$) |
|---|---|
| Ansambluri testate în totalitate 2 și 3 | 0,9 |
| 4 și 5 | 0,8 |
| 6 la 9 | 0,7 |
| Peste 10 | 0,6 |
| Ansambluri testate parțial | 1,0 |

*Tab. A12: Coeficienți de simultaneitate pentru tablourile de distribuție (CEI 60439).*

## Coeficientul de simultaneitate în funcție de destinația circuitului

**Tabelul A13** prezintă factorii de simultaneitate utilizați pentru circuite care alimentează sarcini uzuale.

| Destinație circuit | | Coeficient de simultaneitate ($k_s$) |
|---|---|---|
| Iluminat | | 1 |
| Încălzire și aer condiționat | | 1 |
| Prize | | 0,1 la 0,2(1) |
| Lifturi și echipament de ridicat(2) | ■ pentru motorul cu puterea cea mai mare | 1 |
| | ■ pentru motorul cu puterea următoare | 0,75 |
| | ■ pentru toate motoarele | 0,60 |

***(1)** În anumite cazuri, în special în instalațiile industriale, acest coeficient poate fi mai mare.*
***(2)** Curentul de calcul este egal cu valoarea curentului nominal al motorului majorat cu o treime din valoarea curentului de pornire.*

*Tab. A13: Coeficientul de simultaneitate în funcție de destinația circuitului.*

## 4.4 Exemple de aplicare a coeficienților de utilizare ($k_u$) și de simultaneitate ($k_s$)

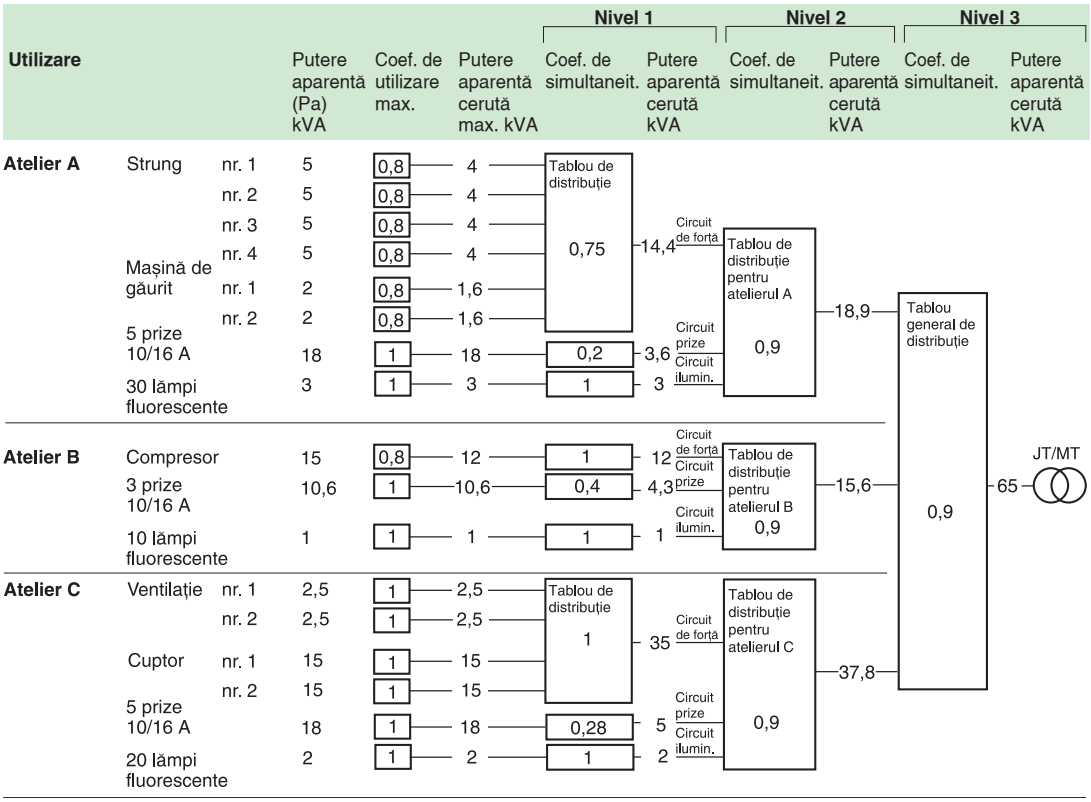
**Tabelul A14** prezintă un exemplu de estimare a cererii maxime de putere aparentă kVA la toate nivelele unei instalații, pornind de la fiecare sarcină și până la punctul de alimentare.
În acest exemplu, puterea aparentă totală instalată este 126,6 kVA ceea ce corespunde unei valori maxime reale, estimate la bornele de joasă tensiune ale unui transformator MT/JT de doar 65 kVA.
**Notă:** Pentru a alege secțiunea cablurilor pentru circuitele de distribuție ale instalației, curentul I (în A) prin circuit se determină din relația:

$$I = \frac{kVA \times 10^3}{U\sqrt{3}}$$

unde kVA este valoarea puterii maxime aparente aferentă circuitului respectiv, iar U este tensiunea de linie (între faze) (în V).

## 4.5 Coeficientul de diversitate

Termenul de “diversity factor” așa cum este definit în standardele CEI are aceeași semnificatie cu $k_s$ din prezentul ghid, secțiunea 4.3. În anumite țări de limbă engleză, “diversity factor” este inversul lui $k_s$, deci este supraunitar.




*Tab A14: Exemplu de estimare a puterii maxime pentru o instalație (valorile utilizate pentru coeficienți sunt doar demonstrative).*

## 4.6 Alegerea puterii nominale a transformatorului

În cazul în care o instalație electrică este alimentată direct dintr-un transformator MT/JT și puterea aparentă maximă a acesteia a fost determinată, parametri nominali ai transformatorului se pot alege luând în considerare următoarele (vezi **Tab. A15**):

- posibilitatea de îmbunătățire a factorului de putere (cos φ) al instalației (a se vedea capitolul L);
- extinderile anticipate ale instalației;
- constrângerile impuse instalației (temperatură, etc.);
- puterile nominale standard ale transformatoarelor.

| Putere aparentă | $I_n$ (A) | |
|---|---|---|
| kVA | 237 V | 410 V |
| 100 | 244 | 141 |
| 160 | 390 | 225 |
| 250 | 609 | 352 |
| 315 | 767 | 444 |
| 400 | 974 | 563 |
| 500 | 1218 | 704 |
| 630 | 1535 | 887 |
| 800 | 1949 | 1127 |
| 1000 | 2436 | 1408 |
| 1250 | 3045 | 1760 |
| 1600 | 3898 | 2253 |
| 2000 | 4872 | 2816 |
| 2500 | 6090 | 3520 |
| 3150 | 7673 | 4436 |

*Tab. A15: Puteri aparente și curenții nominali standard pentru un transformator MT/JT.*

Curentul nominal $I_n$ la bornele de joasă tensiune ale unui transformator trifazat este dat de următoarea relație:

$$In = \frac{Pa \times 10^3}{U \sqrt{3}}$$

unde:

$P_a$ = puterea aparentă nominală, în kVA, a transformatorului
U = tensiunea între faze, în V (237 V sau 410 V) în gol
$I_n$ este exprimat în A.

Pentru un transformator monofazat:

$$In = \frac{Pa \times 10^3}{V}$$

unde:

V = tensiunea de la bornele transformatorului, în gol.

Relația simplificată pentru 400 V (sarcină trifazată):

In = kVA x 1,4

Standardul internațional pentru transformatoare de putere este CEI 60076.

## 4.7 Alegerea surselor de alimentare

Importanţa menţinerii neîntrerupte a alimentarii cu energie electrică conduce la necesitatea utilizării unei surse de alimentare de rezervă. Alegerea și caracteristicile acestei surse alternative depind de arhitectura aleasă așa cum este descris în capitolul D.

Pentru sursele de alimentare normale alegerea se face, în general, între conectarea la o rețea publică existentă de medie sau joasă tensiune.

În practică, conectarea la o rețea publică de medie tensiune poate fi necesară acolo unde sarcinile depășesc (sau se preconizează că vor depăși) un anumit nivel - în general de ordinul a 250 kVA, sau în condițiile în care calitatea serviciului cerut este mai mare decât cea normală disponibilă într-o rețea de joasă tensiune.

Mai mult, dacă instalația conectată la rețeaua de joasă tensiune este posibil să cauzeze perturbații consumatorilor invecinați, autoritatea furnizoare poate propune alimentarea din rețeaua de medie tensiune.

Alimentarea din rețeaua de medie tensiune poate avea câteva avantaje importante; de fapt, un consumator pe medie tensiune:

- nu va fi afectat de posibile perturbații produse de alți consumatori, așa cum se întâmplă în cazul consumatorilor pe joasă tensiune;
- poate alege orice sistem de tratare a neutrului pe partea de joasă tensiune;
- are o gamă mai largă de alegere a tarifelor;
- poate suporta creșteri masive de putere.

Trebuie menţionat totuși faptul că:

- consumatorul este proprietarul staţiei MT/JT și, în unele țări, acesta trebuie să suporte cheltuielile de construcție și echipare. Autoritatea furnizoare poate, în anumite cazuri să participe la această investiție, relativ la linia de medie tensiune, de exemplu;
- o parte din costurile de conectare pot fi recuperate, de exemplu de la un alt consumator care se va conecta ulterior la respectiva staţie;
- consumatorul are acces doar la partea de joasă tensiune a instalației, accesul la partea de medie tensiune fiind rezervat doar personalului calificat al autorității furnizoare (citirea contoarelor, diverse manevre, etc.). Totuși, în anumite țări întreruptorul de medie tensiune (sau separatorul cu fuzibile) poate fi manevrat de consumator;
- tipul și amplasarea postului de transformare se vor decide de comun acord între consumator și autoritatea furnizoare.

# Capitolul B
# Conectarea la rețeaua de distribuție de medie tensiune



## Cuprins


| | | |
|---|---|---|
| 1 | **Alimentarea cu energie la medie tensiune** | **B2** |
| | 1.1 Caracteristicile alimentării cu energie din rețeaua de distribuție de medie tensiune | B2 |
| | 1.2 Diferite tipuri de alimentări la medie tensiune | B11 |
| | 1.3 Aspecte operaționale ale rețelelor de distribuție de medie tensiune | B12 |
| 2 | **Procedura de instalare a unui post de transformare** | **B14** |
| | 2.1 Informații preliminare | B14 |
| | 2.2 Studiu de soluție | B15 |
| | 2.3 Aplicare | B15 |
| | 2.4 Punerea în funcțiune | B15 |
| 3 | **Aspectul protecțiilor** | **B16** |
| | 3.1 Protecția împotriva șocurilor electrice | B16 |
| | 3.2 Protecția transformatoarelor și circuitelor | B17 |
| | 3.3 Interblocaje și operații condiționate | B19 |
| 4 | **Post de transformare tip abonat cu măsura pe JT** | **B22** |
| | 4.1 General | B22 |
| | 4.2 Alegerea celulelor | B22 |
| | 4.3 Alegerea celulei pentru protecția transformatorului | B25 |
| | 4.4 Alegerea transformatorului MT/JT | B25 |
| 5 | **Post de transformare tip abonat cu măsura pe MT** | **B30** |
| | 5.1 General | B30 |
| | 5.2 Alegerea celulelor | B32 |
| | 5.3 Funcționarea în paralel a transformatoarelor | B33 |
| 6 | **Componența diferitelor tipuri de posturi de transformare** | **B35** |
| | 6.1 Diferite tipuri de posturi de transformare | B35 |
| | 6.2 Posturi de transformare de interior | B35 |
| | 6.3 Posturi de transformare de exterior | B37 |

# 1 Alimentarea cu energie la medie tensiune



Până acum, nu există nici o înțelegere internațională relativ la limitele precise de definire a “mediei” tensiuni.
Nivelele de tensiune care sunt considerate ca “medii” în unele țări, sunt denumite “înalte” în altele.
În acest capitol, rețelele de distribuție ce funcționează la tensiuni de 1000 V sau mai mici sunt considerate ca sisteme de Joasă Tensiune (JT), în timp ce sistemele de distribuție a energiei electrice care necesită un nivel superior de tensiune, pentru alimentarea prin transformare a rețelelor de joasă tensiune, vor fi denumite sisteme de Medie Tensiune (MT).
Din rațiuni economice, tensiunea nominală limită a sistemelor de distribuție de MT, definite mai sus, depășește rareori valoarea de 35 kV.
În România, acest nivel de tensiune se denumește Medie Tensiune - MT.

*Principalii parametri care caracterizează un sistem de alimentare cu energie electrică sunt:*
- *Tensiunea nominală și nivelele de izolație corespunzătoare;*
- *Curentul de scurtcircuit;*
- *Curentul nominal al receptoarelor care fac parte din instalație;*
- *Sistemul de tratare a neutrului.*

## 1.1 Caracteristicile alimentării cu energie din rețeaua de distribuție de medie tensiune

### Tensiunea nominală și nivelele de izolație nominale

Tensiunea nominală a unui sistem sau a unui echipament este definită în CEI 60038 ca “tensiunea la care un sistem sau un echipament este proiectat și pentru care sunt definite caracteristicile funcționale sigure”. Strâns înrudită cu tensiunea nominală este “cea mai ridicată tensiune a echipamentului” care se referă la nivelul de izolație la frecvența normală de lucru și la care alte caracteristici se pot referi în recomandări relevante pentru echipament.
“Cea mai ridicată tensiune pentru echipament” este definită în CEI 60038 ca: “valoarea maximă a tensiunii la care echipamentul poate fi utilizat, care apare în condiții normale de funcționare, oricând și în orice punct al sistemului. Ea exclude tensiunile tranzitorii, cum ar fi cele datorate proceselor de comutație și variațiilor temporare de tensiune”.

**Note**:
**1 -** Tensiunea cea mai mare pentru un echipament este indicată numai pentru tensiuni nominale ale sistemului mai mari de 1000 V. Se înțelege că, în mod particular pentru anumite tensiuni nominale ale sistemului, funcționarea normală a echipamentului nu poate fi asigurată până la valoarea celei mai înalte tensiuni a echipamentului, având în vedere caracteristicile specifice de tensiune, cum ar fi pierderile condensatoarelor, curentul de magnetizare al transformatoarelor, etc. În asemenea cazuri, recomandările standardelor CEI trebuie să specifice limita la care poate fi asigurată operarea normală a echipamentului.
**2 -** Se înțelege că pentru echipamentul care va fi utilizat în sisteme a căror tensiune nominală nu depășește 1000 V, referirile trebuie specificate numai la tensiunile nominale ale sistemului, atât din punct de vedere operațional, cât și pentru izolație.
**3 -** Definiția pentru “cea mai ridicată tensiune a echipamentului” dată în CEI 60038 este identică cu cea dată în CEI 60694 pentru “tensiunea nominală”. CEI 60694 se referă la aparate de comutație pentru tensiuni nominale mai mari de 1000 V.
Valorile din **Tabelul B1**, provenite din CEI 60038, prezintă cele mai utilizate nivele standard de distribuție la medie tensiune și arată tensiunile nominale ce corespund valorilor standard ale celei mai ridicate tensiuni a echipamentului (tensiune maximă de serviciu).
Aceste sisteme sunt în general sisteme trifazate cu trei conductoare în afara cazurilor unde este indicat altfel.
Valorile indicate în paranteze ar trebui considerate ca valori nerecomandabile (de evitat). Este de dorit ca aceste valori să nu fie utilizate pentru sisteme noi ce vor fi construite în viitor.

| **Seria I (pentru rețele de 50 și 60 Hz)** | | |
|---|---|---|
| **Tensiunea nominală a sistemului** (kV) | (kV) | **Cea mai ridicată tensiune pentru echipament** (kV) |
| 3,3[1] | 3[1] | 3,6[1] |
| 6,6[1] | 6[1] | 7,2[1] |
| 11 | 10 | 12 |
| - | 15 | 17,5 |
| 22 | 20 | 24 |
| 33[2] | - | 36[2] |
| - | 35[2] | 40,5[2] |

***(1)*** *Aceste valori nu ar trebui utilizate pentru sisteme de distribuție publică.*
***(2)*** *Este în discuție unificarea acestor valori.*

***Tab. B1:*** *Relațiile între tensiunea nominală a sistemului și tensiunea maximă pentru echipament.*

Este recomandat ca în orice țară raportul dintre două tensiuni nominale adiacente să nu fie mai mic de doi.
Pentru asigurarea unei protecții adecvate a echipamentului împotriva supratensiunilor temporare și împotriva tensiunilor tranzitorii datorate loviturilor de trăsnet, proceselor de comutație și condițiilor de defect ale sistemului, etc., toate echipamentele de medie tensiune trebuie să aibă specificat nivelul nominal de izolație.

**Aparate de comutație**

**Tabelul B2** de mai jos, este extras din CEI 60694 și prezintă valorile standard ale tensiunilor de ținere la impuls. Alegerea dintre valorile din Lista 1 și cele din Lista 2 depinde de gradul de expunere la supratensiuni atmosferice și de comutație[1], de tipul sistemului de tratare a neutrului și de tipul aparaturii de protecție la supratensiune, etc. (mai multe indicații sunt date în CEI 60071).

| Tensiune nominală U (valoare eficace) | Tensiune nominală de ținere la impuls de trăsnet (valoare de vârf) | | | | Tensiune nominală de ținere la impuls de scurtă durată de frecvență ind. (valoare eficace) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Lista 1 | | Lista 2 | | | |
| | La pământ, între poli și contactele deschise ale unui disp. de comutație | Peste distanța de izolare | La pământ, între poli și contactele deschise ale unui disp. de comutație | Peste distanța de izolare | La pământ, între poli și contactele deschise ale unui disp. de comutație | Peste distanța de izolare |
| (kV) | (kV) | (kV) | (kV) | (kV) | (kV) | (kV) |
| 3,6 | 20 | 23 | 40 | 46 | 10 | 12 |
| 7,2 | 40 | 46 | 60 | 70 | 20 | 23 |
| 12 | 60 | 70 | 75 | 85 | 28 | 32 |
| 17,5 | 75 | 85 | 95 | 110 | 38 | 45 |
| 24 | 95 | 110 | 125 | 145 | 50 | 60 |
| 36 | 145 | 165 | 170 | 195 | 70 | 80 |
| 52 | - | - | 250 | 290 | 95 | 110 |
| 72,5 | - | - | 325 | 375 | 140 | 160 |

***Notă:*** *Tensiunile de ținere "peste distanța de izolație" sunt valabile numai pentru aparatajul de comutație unde distanțele între contactele deschise trebuie să îndeplinească cerințele de securitate pentru separatoare.*

***Tab. B2:*** *Niveluri de izolație nominală ale aparatajului de comutație.*

Ar trebui notat că, pentru valorile de tensiune citate, nu se dau valori ale supratensiunii de comutație, deoarece supratensiunile datorate proceselor de comutație sunt mai puțin periculoase la aceste valori de tensiune decât cele datorate supratensiunilor atmosferice.

**Transformatoare**

**Tabelul B3** de mai jos, este extras din CEI 60076-3.
Semnificația listei 1 și a listei 2 este aceeași cu cea din tabelul aparatelor de comutație, de exemplu alegerea depinde de gradul de expunere la lovitura de trăsnet, etc.

| Tensiunea cea mai mare pentru echipament (valoare eficace) | Tensiune nominală de ținere la impuls de scurtă durată de frecvența industrială Um (valoare eficace) | Tensiune nominală de ținere la impuls de trăsnet (valoare de vârf) | |
|---|---|---|---|
| | | Lista 1 | Lista 2 |
| (kV) | (kV) | (kV) | (kV) |
| ⩽ 1,1 | 3 | - | - |
| 3,6 | 10 | 20 | 40 |
| 7,2 | 20 | 40 | 60 |
| 12 | 28 | 60 | 75 |
| 17,5 | 38 | 75 | 95 |
| 24 | 50 | 95 | 125 |
| 36 | 70 | 145 | 170 |
| 52 | 95 | 250 | |
| 72,5 | 140 | 325 | |

***Tab. B3:*** *Niveluri de izolație nominală ale transformatoarelor.*

***(1)*** *Aceasta înseamnă că, în principiu, Lista 1 se aplică în general aparatajului utilizat în rețele de cabluri subterane în timp ce Lista 2 este utilizată pentru aparatajul folosit în rețelele electrice aeriene.*

# 1 Alimentarea cu energie la medie tensiune



*Standardele naționale ale unei anumite țări sunt în mod obișnuit elaborate să includă doar unul sau două nivele de tensiune, curent și niveluri de defect, etc.*

*Un întreruptor automat (sau o siguranță fuzibilă, într-un domeniu limitat al tensiunii) este singura formă de aparataj de comutație capabilă de întrerupere sigură a valorilor foarte ridicate de curent în cazul defectelor de scurtcircuit ce apar într-o rețea electrică de distribuție.*

**Alte componente**
Este evident că performanțele izolației altor componenete de MT asociate cu aceste elemente majore, cum sunt de exemplu izolatoarele de sticlă sau porțelan, cablurile de MT, transformatoarele de măsură, etc, trebuie să fie compatibile cu cele ale aparatajului de comutație și ale transformatoarelor menționate mai sus. Tipurile de încercări pentru aceste elemente sunt date în publicațiile CEI corespunzătoare.

**Notă generală:**
Standardele CEI sunt gândite în sensul unei aplicabilități universale și, în consecință, cuprind un număr mare de nivele de tensiune și de curenți.
Acestea reflectă practicile diferite adoptate în țări cu diferite condiții meteorologice, geografice și economice. Standardele naționale ale unei anumite țări sunt în mod obișnuit elaborate să includă doar unul sau două valori ale tensiunii, curentului și curentului de defect, etc.

## Curentul de scurtcircuit

Valorile standard ale capacității de întrerupere a curentului de scurtcircuit pentru un întreruptor sunt exprimate în mod normal în kilo-amperi (kA).
Aceste valori se referă la condiții de scurtcircuit trifazat și se exprimă ca o medie a valorilor eficace ale componentei de c.a. a curentului în fiecare din cele 3 faze.
Pentru întreruptoarele de tensiuni nominale considerate în acest capitol, **Tabelul B4** prezintă valorile standard ale curentului de rupere la scurtcircuit.

| kV | 3,6 | 7,2 | 12 | 17,5 | 24 | 36 | 52 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| kA | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| (eficace) | 10 | 12,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 |
| | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 20 |
| | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | |
| | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | |
| | | | 50 | | | | |

***Tab. B4:*** *Valorile standard ale curentului de rupere la scurtcircuit a întreruptoarelor.*

## Calculul curenților de scurtcircuit

Regulile pentru calculul curenților de scurtcircuit într-o instalație electrică sunt prezentate în standardul CEI 60909.
Calculul curenților de scurtcircuit se poate transforma într-o sarcină dificilă când instalația este complicată.
Utilizarea unor programe de calcul poate accelera acest proces.
Acest standard general, aplicabil pentru toate sistemele de alimentare, radiale sau buclate, 50 sau 60 Hz și până la 550 kV, este foarte precis și conservator.
El poate fi utilizat pentru diferitele tipuri de scurtcircuite (simetrice sau asimetrice) care pot apărea într-o instalație electrică:
- scurtcircuit trifazic (toate trei fazele), în general tipul care produce cei mai importanți curenți;
- scurtcircuit bifazic (între două faze), curenții sunt mai mici decât în cazul precedent;
- scurtcircuit bifazic cu punere la pământ (între două faze și pământ);
- punere la pământ (între o fază și pământ), cel mai frecvent tip (80% din cazuri).

La apariția unui defect, curenții tranzitorii de scurtcircuit sunt o funcție de timp și conțin două componente (vezi **Fig. B5**):
- o componentă alternativă, descrescând către o valoare stabilă, în funcție de constanta de timp a mașinilor electrice aflate în rotație;
- o componentă continuă, descrescând către zero, cauzată de creșterea bruscă de curent, care este funcție de impedanța circuitului.

Din punct de vedere practic trebuie să definim valorile curenților de scurtcircuit care se utilizează la alegerea echipamentelor și a sistemelor de protecții:
- $I''_k$: valoarea eficace a curentului inițial simetric;
- $I''_b$: valoarea eficace a curentului simetric întrerupt de aparatul de comutație când primul pol deschide la $t_{min}$ (temporizare minimă);
- $I_k$: valoarea eficace a curentului stabil simetric;
- $I_p$: valoarea maximă instantanee a curentului la primul vârf;
- $I_{DC}$: valoarea instantanee a componentei continue a curentului în momentul întreruperii (la $t_{min}$).

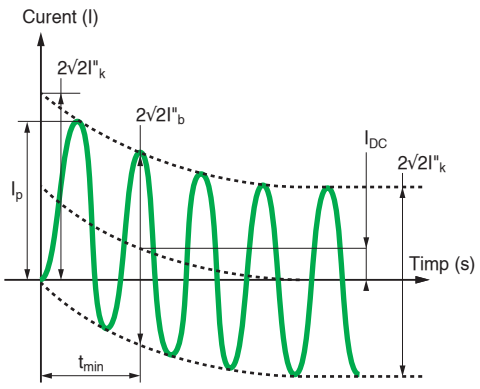



***Fig. B5:*** *Reprezentare grafică a curentului de scurtcircuit conform CEI 60909.*

Curenţii sunt identificaţi prin indicii 3, 2, 2E, 1, depinzând de tipul scurtcircuitului respectiv trifazic, bifazic, bifazic cu pământul, fază cu pământul.
Metoda, bazată pe teorema superpoziţiei Thevenin şi descompunerea în componente simetrice, constă în aplicarea în punctul de scurtcircuit a unei surse echivalente de tensiune în vederea determinării curentului. Calculul se efectuează în trei paşi.
■ Definirea sursei echivalente de tensiune de aplicat la punctul de defect. Reprezintă tensiunea existentă înainte de defect şi este definită ca şi tensiunea nominală multiplicată cu un factor care ia în considerare variaţiile sursei, comutatoarele de ploturi sub sarcină ale transformatoarelor şi comportarea subtranzitorie a maşinilor.
■ Calcularea impedanţelor, aşa cum se văd din punctul de defect, pe fiecare ramură ce ajunge în punctul de defect. Pentru sistemele de secvenţă pozitivă şi negativă, calculul nu ia în considerare capacităţile liniei şi admitanţele sarcinilor nerotative, montate în paralel.
■ Odată ce tensiunea şi impedanţa sursei este definită, se calculează valorile caracteristice, minime şi maxime, ale curenţilor de scurtcircuit.

Valorile diferiţilor curenţi în punctul de defect sunt calculate utilizând:
■ ecuaţiile furnizate;
■ o sumă a curenţilor care circulă prin ramurile conectate la nod:
☐ $I''_k$: (vezi **Fig. B6** pentru calculul $I''_k$, unde factorul de tensiune c este definit de standard; sumă algebrică sau geometrică),
☐ $I_p = \kappa \times 2 \times I''_k$, unde $\kappa$ este mai mic decât 2 depinzând de raportul R/X al impedanţei de secvenţă directă pentru ramura dată; suma vârfurilor,
☐ $I_b = \mu \times q \times I''_k$, unde $\mu$ şi q sunt mai mici decât 1, depinzând de generatoare şi de motoare şi de curentul minim temporizat la întrerupere; sumă algebrică,
☐ $I_k = I''_k$ când defectul este departe de generator,
☐ $I_k = \lambda \times I_r$, pentru un generator, unde $I_r$ este curentul nominalal generatorului şi $\lambda$ este un factor depinzând de inductanţa sa de saturaţie; sumă algebrică.

| Tipul scurtcircuitului | $I''_k$ | |
|---|---|---|
| | Situaţie generală | Defecte îndepărtate |
| 3 faze | $\frac{c\ Un}{\sqrt{3}\ Z_1}$ | $\frac{c\ Un}{\sqrt{3}\ Z_1}$ |
| 2 faze | $\frac{c\ Un}{Z_1+Z_2}$ | $\frac{c\ Un}{2Z_1}$ |
| 2 faze şi pământ | $\frac{c\ Un\ \sqrt{3}\ Z_2}{Z_1 Z_2+Z_2 Z_0+Z_1 Z_0}$ | $\frac{c\ Un\ \sqrt{3}}{Z_1+2Z_0}$ |
| Fază şi pământ | $\frac{c\ Un\ \sqrt{3}}{Z_1+Z_2+Z_0}$ | $\frac{c\ Un\ \sqrt{3}}{2\ Z_1+Z_0}$ |

***Tab. B6:*** *Curentul de scurtcircuit conform CEI 60909.*

## Caracterizare

În sistem există două tipuri de echipamente, în funcţie de reacţia la apariţia unui defect.

**Echipamente pasive**
Această categorie cuprinde toate echipamentele care, datorită funcţiei lor, trebuie să aibă capacitatea de transport atât a curenţilor normali cât şi a curenţilor de scurtcircuit. Aceste echipamente includ cablurile, liniile aeriene, barele, separatoarele, separatoarele de sarcină, transformatoarele, reactanţele serie şi condensatoarele, transformatoarele de măsură.

Pentru aceste echipamente capacitatea de a rezista distrugerilor provocate de un scurtcircuit este definită în termeni de:
■ Rezistenţa electrodinamică (“curent de ţinere la valoarea de vârf”; valoarea de vârf a curentului exprimata în kA), caracterizând rezistenţa mecanică la solicitări electrodinamice
■ Rezistenţa termică (“curent de ţinere de scurtă durată”; valoare eficace exprimată în kA pentru durate între 0,5 şi 3 secunde, cu valoare mai des întalnită de 1 secundă), caracterizând disiparea de căldură maxim admisă.

# 1 Alimentarea cu energie la medie tensiune



**Echipamente active**
Această categorie cuprinde echipamentele desemnate să elimine curenții de scurtcircuit adică întreruptoarele automate și fuzibilele. Această proprietate este exprimată prin capacitatea de rupere și, dacă este nevoie, de capacitatea de închidere pe scurtcircuit la apariția unui defect.

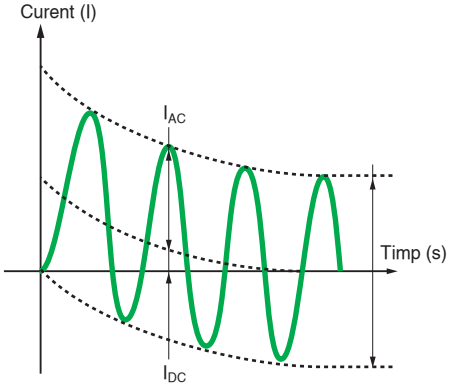
■ Capacitatea de rupere (vezi **Fig. B7**)
Caracteristica de bază a unui dispozitiv destinat să întrerupă curenții de defect este curentul maxim (valoare eficace exprimată în kA) pe care este capabil să-l întrerupă în condiții specifice definite de standarde; standardul CEI se referă la valoarea eficace a componentei periodice a curentului de scurtcircuit. În alte standarde, valoarea eficace a sumei dintre componenta periodică și componenta aperiodică este specificată, caz în care este vorba de "curent asimetric". Capacitatea de rupere depinde de alți factori ca:
☐ tensiune,
☐ raportul R/X al circuitului de întrerupt,
☐ frecvența naturală a sistemului de alimentare,
☐ numărul de deschideri la curent maxim, de exemplu ciclul D - I/D - I/D
(D - deschidere, I - închidere)
☐ starea dispozitivului după test.
Capacitatea de rupere este o caracteristică dificil de definit și, în consecință, nu trebuie să surprindă faptul că aceluiași aparat i se pot asocia diferite capacități de rupere în funcție de standardul în care sunt definite.

■ Capacitatea de închidere pe scurtcircuit
În general această caracteristică este implicit definită de capacitatea de rupere deoarece un aparat trebuie să închidă pe un curent pe care îl poate întrerupe. Câteodată capacitatea de închidere trebuie să fie mai mare, de exemplu pentru întreruptoare automate care protejează generatoare.
Capacitatea de închidere este definită în funcție de valoarea de vârf (exprimată în kA) deoarece primul vârf asimetric este cel mai solicitant din punct de vedere electrodinamic.
De exemplu, conform standardului CEI 62271-100, un întreruptor automat utilizat într-un sistem energetic cu frecvența de 50 Hz trebuie să fie capabil să închidă pe o valoare de vârf a curentului egală cu 2,5 ori valoarea eficace a curentului de rupere (2,6 ori pentru sistemele de 60 Hz).
Capacitatea de închidere mai este cerută pentru separatoare de sarcină și separatoare, chiar dacă aceste dispozitive nu sunt capabile să întrerupă curentul.

■ Curentul de rupere la scurtcircuit prezumat
Anumite dispozitive au capacitatea de a limita curentul de defect ce urmează să fie întrerupt.
Capacitatea lor de rupere este definită ca maximul curentului de scurtcircuit prezumat care s-ar fi dezvoltat în timpul unui scurtcircuit net între terminalele amonte ale dispozitivului.

## Caracteristicile diferitelor dispozitive

Funcțiunile diferitelor dispozitive ce întrerup curenți și principalele lor caracterizări sunt prezentate în **Tabelul B8**.




$I_{AC}$: Vârful componentei periodice.
$I_{DC}$: Componenta aperiodică.

*Fig. B7: Curentul de rupere nominal al unui întreruptor automat în caz de scurtcircuit, conform CEI 60056.*

| Dispozitiv | Separare vizibilă între două rețele sub tensiune | Condiții de manevrare | | Caracteristici principale |
|---|---|---|---|---|
| | | Normale | Defect | |
| Separator | Da | Nu | Nu | Separare vizibilă longitudinală |
| Întreruptor<br>Separator de sarcină | Nu | Da | Nu | Capacitate de rupere și de închidere a sarcinii<br>Capacitate de închidere pe scurtcircuit |
| Contactor | Nu | Da | Nu | Capacitate de rupere și de închidere a curentului nominal<br>Capacitate de rupere și de închidere maximă<br>Caracteristici de anduranță |
| Întreruptor automat | Nu | Da | Da | Capacitate de rupere a curentului de scurtcircuit<br>Capacitate de închidere a curentului de scurtcircuit |
| Fuzibil | Nu | Nu | Da | Capacitate de rupere a curentului de scurtcircuit minimă<br>Capacitate de rupere a curentului de scurtcircuit maximă |

*Tab. B8: Funcțiile diferitelor dispozitive de întrerupere.*

*Curentul nominal cel mai utilizat pentru aparatul de comutație folosit în rețelele de distribuție de MT de uz general, este de 400 A.*

*În România curentul nominal cel mai utilizat este de 630 A.*

**Curentul nominal**

Curentul nominal normal este definit ca “valoarea eficace a curentului care poate fi suportat în mod continuu la frecvența nominală cu o creștere a temperaturii ce nu o depășește pe aceea specificată de standardul specific de producție”.
Curenții nominali ceruți pentru aparatajul de comutație sunt stabiliți în etapa de proiectare a postului de transformare.
Curentul nominal cel mai utilizat pentru aparatul de comutație folosit în rețelele de distribuție la MT de utilitate generală, este de 400 A.
În zonele industriale și în cele urbane cu o încărcare mare, uneori sunt cerute circuite nominale la 630 A.
La stațiile de alimentare principale de MT și în posturile de transformare, valorile nominale standard pentru circuitele celulelor de sosire de la transformatoare de IT, pentru întreruptoare de putere de cuplă și de bare colectoare sunt 800 A; 1250 A; 1600 A; 2500 A și 4000 A.
La posturile de transformare de MT/JT care includ un transformator cu un curent nominal în primar mai mic de 60 A (în general când puterea transformatorului este mai mică de 1000 kVA), un separator de sarcină MT asociat cu un set de 3 siguranțe fuzibile (sau o combinație similară) este în general folosită pentru controlul și protecția transformatorului, ca o alternativă mai economică la întreruptorul de putere. Pentru curenți primari mai mari (transformatoare cu putere nominală egală sau mai mare de 1000 kVA), combinația fuzibili - separator de sarcină nu asigură performanțele cerute.
Nu există tabele de valori ale curentului normal nominal recomandate de CEI pentru combinația fuzibili - separator de sarcină. Valoarea nominală actuală va fi dată de fabricantul separatorului de sarcină cu siguranțe fuzibile, în concordanță cu caracteristicile siguranței fuzibile și a datelor transformatorului, cum ar fi:

- curentul normal la MT;
- supracurentul permis și durata sa;
- vârful maxim și durata șocului de curent de magnetizare la conectarea transformatorului;
- modul de acționare a protecției și a aparatelor de comutație pe partea de MT, etc.

așa cum se arată în exemplul dat în Anexa A a CEI 62271-105.

Într-o astfel de schemă, separatorul de sarcină trebuie să fie capabil să declanșeze automat, de exemplu prin relee, la valori scăzute ale curentului de defect, care trebuie să acopere (prin valori apropiate) curentul nominal minim de întrerupere al siguranțelor fuzibile de MT. În acest fel, valorile ridicate ale curentului de defect care sunt dincolo de capacitatea de rupere a separatorului de sarcină, vor fi deconectate către siguranțele fuzibile în timp ce valorile scăzute ale curenților de defect, care nu pot fi întrerupte de către siguranțele fuzibile, vor fi eliminate de către separatorul de sarcină acționat prin releu.

**Influența temperaturii mediului ambiant și a altitudinii asupra curentului nominal**

Valorile curentului nominal sunt atribuite pentru toate dispozitivele electrice prin care circulă curent, iar limitele superioare ale acestora sunt stabilite de creșterea temperaturii datorată puterii $I^2R$ (Watt) disipate în conductoare (unde I = valoarea eficace a curentului, în Amperi și R = rezistența conductorului, în Ohmi), împreună cu căldura produsă prin histerezis magnetic și pierderile prin curenți turbionari la motoare, transformatoare, etc., precum și pierderilor dielectrice în cabluri și condensatoare, acolo unde este cazul.
Creșterea de temperatură peste temperatura mediului ambiant va depinde, în principal, de modul în care căldura este disipată. De exemplu, curenți mari pot fi trecuți prin înfășurările motorului electric fără a produce supraîncălziri, deoarece un simplu ventilator de răcire fixat pe axul motorului îndepărtează căldura cu aceeași rată cu care ea este produsă și astfel temperatura atinge o valoare stabilă inferioară celei care ar putea deteriora izolația și ar conduce la “arderea” motorului.
Transformatoarele cu răcire în ulei sau în aer sunt printre cele mai cunoscute exemple de asemenea tehnici de răcire forțată.
Valorile curenților nominali recomandate de CEI sunt bazate pe temperaturi normale ale aerului în climă temperată și la altitudini ce nu depășesc 1000 m, astfel încât echipamentele care depind de răcirea naturală prin radiație și convecție a aerului se vor încălzi dacă funcționează la curentul nominal la climă tropicală și/sau la altitudini ce depășesc 1000 m. În astfel de situații, echipamentele trebuiesc declasate la o valoare nominală a curentului mai mică decât cea nominală descrisă în caracteristici.
Situația transformatoarelor este reglementată în standardul CEI 60076-2.
În cazul transformatoarelor cu răcire forțată, în general este suficient să se furnizeze ecrane protectoare la radiația solară, să se mărească suprafețele radiatorului de ulei de răcire, să se mărească puterea pompelor de circulație a uleiului precum și dimensiunea ventilatoarelor de aer, pentru menținerea valorilor inițiale nominale conform CEI.
Pentru aparatajul de comutație, fabricantul trebuie consultat asupra declasării corecte ce trebuie efectuată pentru condițiile de funcționare reale.

# 1 Alimentarea cu energie la medie tensiune



*Defectele de punere la pământ la sisteme de MT pot induce valori periculoase de tensiune pe partea de JT a instalațiilor. Consumatorii de JT (și personalul de exploatare) pot fi protejați împotriva acestui pericol prin:*
- *limitarea mărimii curenților de punere la pământ pe partea de MT;*
- *reducerea rezistenței de legare la pământ a posturilor de transformare până la cea mai mică valoare posibilă;*
- *crearea condițiilor de echipotențialitate între postul de transformare și instalația consumatorului.*

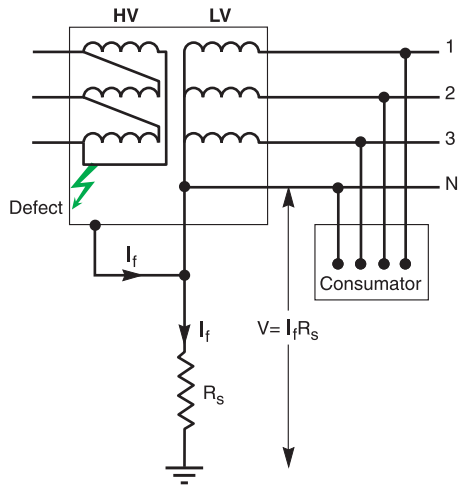



*Fig. B9: Potențial transferat pe JT.*

## Legarea la pământ

Sistemul de legare la pământ și echipamentul de împământare necesită o abordare atentă, în mod particular datorită siguranței consumatorului de JT în timpul unui scurtcircuit la pământ pe partea de MT.

**Prizele de pământ**

În general este preferabil, acolo unde este posibil din punct de vedere fizic, să se separe priza de pământ destinată pentru legarea la pământ a părților metalice aferente echipamentelor de MT de priza de pământ a sistemului de legare la pământ a conductorului de nul la JT. Aceasta este practica comună în sistemele de distribuție rurale, unde electrozii prizei de pământ a rețelei de JT sunt instalați la distanță de una sau două deschideri față de postul de transformare.
În multe cazuri spațiul limitat disponibil din posturile de transformare urbane împiedică o asemenea practică; de exemplu, nu există posibilitatea separării conductorului de protecție la MT de cel de JT pentru evitarea transferurilor de tensiune (posibil periculoase) în sistemul de JT.

**Curentul de punere la pământ**

Valorile curentului de punere la pământ la MT sunt în general (mai puțin acolo unde există restricții speciale în acest sens) comparabile cu acelea ale scurtcircuitului trifazat.
Acești curenți trecând prin priza de pământ vor ridica tensiunea acesteia la o valoare ridicată față de potențialul de referință.
De exemplu, un curent de punere la pământ de 10000 A ce trece printr-un electrod de împământare cu o rezistență de 0,5 Ω (rezistență deosebit de mică) îi va mări tensiunea la 5000 V.
Dacă toate părțile metalice expuse din postul de transformare sunt conectate împreună și apoi legate la priza de pământ iar electrodul (platbandă, priză de pământ) este în forma de (sau este conectat la) o plasă de conductoare situate sub podeaua postului de transformare, atunci nu este nici un pericol pentru personalul de exploatare, de vreme ce această configurație formează o cușcă echipotențială în care toate materialele conducatoare de electricitate inclusiv personalul, sunt ridicate la același potențial.

**Potențial transferat**

De remarcat că un pericol există totuși datorită problemei cunoscute sub numele de "potențial transferat". Se va vedea în **Figura B9** că punctul neutru al înfășurării de JT a transformatorului de MT/JT este, de asemenea, conectat la priza de pământ comună a postului de transformare, astfel încât conductorul neutru, înfășurările fazelor de JT și toate conductoarele de fază sunt, de asemenea, ridicate la potențialul prizei de pământ.
Cablurile de distribuție la JT ce părăsesc postul de transformare vor transfera acest potențial instalațiilor consumatorilor. Se poate observa că nu va exista nici un defect de izolare pe partea de JT, între faze sau între o fază și conductorul de nul din moment ce toate sunt la același potențial. Totusi, este probabil ca izolația dintre faze și pământ a cablului sau a unei părți a instalației va ceda.

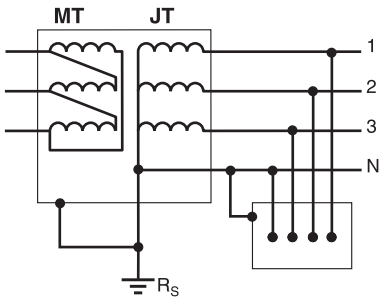
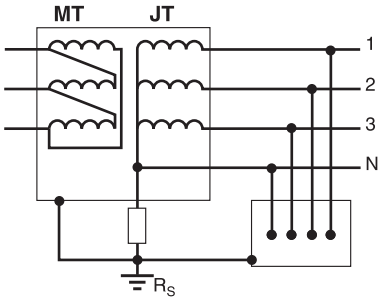
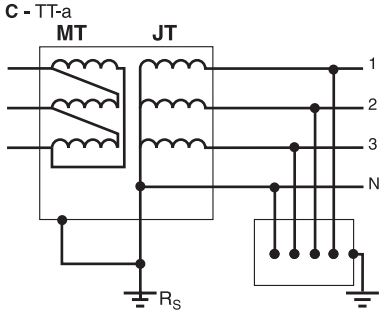
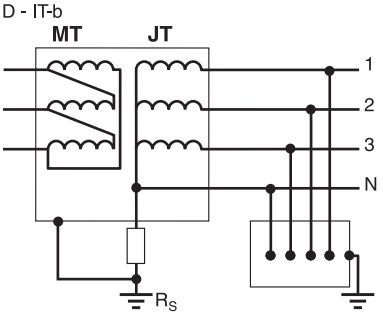
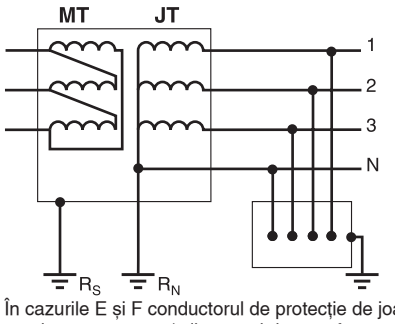
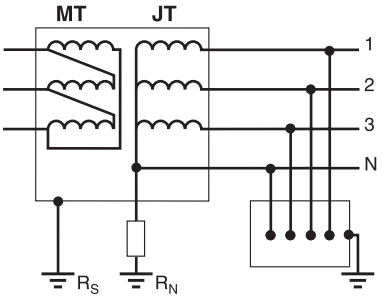
**Soluții posibile**

Primul pas pentru minimizarea pericolelor evidente ale potențialelor transferate este să se reducă mărimea curenților de punere la pământ pe partea de MT. Acestea se realizează în mod normal prin legarea la pământ a sistemelor de MT prin intermediul rezistențelor sau bobinelor de reactanță legate la conexiunile tip stea ale câtorva transformatoare(1), amplasate în posturile de transformare principale sau în stațiile de alimentare cu energie electrică.
Un potențial transferat relativ important nu poate fi complet evitat prin aceste mijloace, totuși o astfel de strategie a fost adoptată în câteva țări.
Instalația echipotențială de legare la pământ în spațiile corespunzătoare consumatorilor poate fi considerată la potențial zero. Totuși, dacă acestă instalație de legare la pământ ar fi conectată la priza de pământ a postului de transformare printr-un conductor cu impendanță mică, atunci condițiile echipotențiale existente în postul de transformare vor exista, de asemenea, la instalațiile consumatorului.

**Legarea la pământ printr-o impedanță redusă**

Această legătură cu impedanța de valoare scăzută este obținută prin conectarea conductorului neutru la instalația echipotențială a consumatorului și rezultatul este cunoscut ca schema TN (CEI 60364), după cum se arată în diagrama A din **Figura B10**.
Schema TN este asociată, în general, cu o schemă de protecție cu conectare la pământ multiplă, în care conductorul de nul este conectat la pământ de-a lungul lungimii sale (la fiecare al treilea sau al patrulea stâlp al liniei aeriene de distribuție, la JT) și în fiecare loc de conectare al consumatorilor.
Se poate observă, că o rețea de conductoare de nul plecând dintr-un post de transformare, fiecare din acestea fiind conectat la pământ la intervale regulate constituie, împreună cu conectarea la pământ a postului de transformare, o foarte eficientă priză de pământ, de rezistență scăzută.

***(1)** Celelalte transformatoare nefiind legate la pământ. Un caz particular al limitării curentului de punere la pământ este prin intermediul bobinei Petersen.*

| Diagramă | Valoare Rs |
|---|---|
| **A -** TN-a<br>  <br><br>B - IT-a<br>  <br> | **Cazurile A și B**<br>În aceste cazuri nu este impusă o valoare particulară a rezistenței |
| **C -** TT-a<br>  <br><br>D - IT-b<br>  <br> | **Cazurile C și D**<br>$R_S \leqslant \frac{U_W - U_O}{I_m}$<br>Unde<br>$U_W$ = tensiunea nominală de ținere la frecvență industrială pentru echipament de joasă tensiune în instalațiile consumatorului<br>$U_O$ = tensiunea fază-neutru în instalațiile consumatorului<br>$I_m$ = valoarea maximă a curentului de punere la pământ pe partea de medie tensiune |
| **E -** TT-b<br>  <br><br>F - IT-c<br>  <br><br>În cazurile E și F conductorul de protecție de joasă tensiune (legat împreună cu celelalte părți conductoare expuse) din postul de transformare este legat la priza de pământ a postului de transformare și de aceea echipamentul de joasă tensiune din postul de transformare poate fi supus unei supratensiuni. | **Cazurile E și F**<br>$R_S \leqslant \frac{U_{WS} - U}{I_m}$<br>Unde<br>$U_{WS}$ = tensiunea nominală de ținere la frecvență industrială pentru echipament de joasă tensiune în postul de transformare<br>U = tensiunea fază-neutru în postul de transformare pentru sistemul TT și tensiunea fază-fază în postul de transformare pentru sistemul IT<br>$I_m$ = valoarea maximă a curentului de punere la pământ pe partea de medie tensiune |

**Note**:
- Pentru TN-a și IT-a, părți conductoare expuse de joasă și medie tensiune din postul de transformare și cele din instalația consumatorului împreună cu nulul transformatorului sunt legate împreună la priza de pământ a postului de transformare.
- Pentru TT-a și IT-b, părți conductoare expuse de joasă și medie tensiune din postul de transformare împreună cu nulul transformatorului sunt legate la priza de pământ a postului de transformare.
- Pentru TT-b și IT-c, nulul transformatorului este legat la pământ, separat, în afara zonei de influență a prizei de pământ a postului de transformare.

$U_W$ și $U_{WS}$ sunt ambele date în CEI 60364-4-44 la valoarea de $U_o$+1200 V, unde $U_o$ este tensiunea nominală fază-neutru a sistemului JT.

***Fig. B10:*** *Valoarea maximă a rezistenței de dispersie a prizei de pământ într-un post de transformare MT/JT pentru asigurarea securității în timpul unui scurtcircuit cu punere la pământ pe partea de medie tensiune, pentru diferite sisteme de tratare a neutrului.*

Combinația dintre limitarea curenților de defect la punerea la pământ, legăturile echipotențiale și sistemul de legare la pământ de rezistență redusă al postului de transformare are ca rezultat o reducere importantă a valorilor supratensiunilor și o limitare a solicitărilor pe care trebuie să le suporte izolația dintre fază și pământ pe perioada punerilor la pământ pe partea de MT, descrise mai sus.

**Limitarea curentului de punere la pământ la MT și rezistența prizei de pământ a postului de transformare**

Un alt sistem de legare la pământ, larg utilizat, este arătat în diagrama C a **Fig. B10**. Se observă că în sistemul TT, instalația de legare la pământ a consumatorului (fiind izolată față de cea a postului de transformare), constituie un potențial de referință. Asta înseamnă că, deși potențialul transferat nu va solicita suplimentar izolația dintre faze a echipamentului consumatorului, izolația dintre fază și pământ a tuturor celor trei faze va fi supusă unei supratensiuni.

# 1 Alimentarea cu energie la medie tensiune



Strategia în această situație este reducerea rezistenței de dispersie a prizei de pământ a postului de transformare, astfel încât valoarea standard a tensiunii de ținere timp de 5 secunde, între fază și pământ, pentru aparatele și echipamentele de JT, nu va fi depășită.
Valorile practice adoptate de o autoritate națională de furnizare a energiei electrice, la sistemele de distribuție de 20 kV, sunt următoarele:
- curentul maxim de punere la pământ la sistemele de distribuție cu linii electrice aeriene sau combinate (linii electrice aeriene și linii electrice subterane LEA și LES) este 300 A;
- curentul maxim de defect la pământ la sistemele subterane (LES) este 1000 A.

Relația necesară pentru determinarea valorii maxime a rezistenței prizei de legare la pământ $R_s$ a postului de transformare, pentru a fi siguri ca tensiunea de ținere la JT nu va fi depășită, este:

$Rs = \frac{Uw - Uo}{Im}$ în Ohmi (vezi cazurile C și D din **Figura B10**).

unde:

$U_w$ = cea mai mică valoare standardizata (în Volți) a tensiunii de ținere de scurtă durată (5 s) pentru instalațiile și echipamentele consumatorului = $U_o$ + 1200 V (CEI 60364-4-44)

$U_o$ = tensiunea fază-nul (în Volți) corespunzătoare locului de conectare a consumatorului de JT

$I_m$ = curentul maxim de defect la pământ pe partea de MT a sistemului (în Amperi). Curentul maxim de defect la pământ $I_m$ este suma vectorială dintre curentul maxim de defect la pământ în conexiunea neutrului și curentul capacitiv nesimetric al întregii rețele.

A treia modalitate de legare la pământ, denumită în CEI 60364 ca schema “IT”, este utilizată în mod obișnuit acolo unde continuitatea în alimentare cu energie electrică este esențială, de exemplu în spitale, fabrici cu proces de fabricație continuu, etc.
Principiul constă în alimentarea de la o sursă nelegată la pământ, de regulă un transformator, la care înfășurarea secundară nu este legată la pământ sau legată la pământ printr-o impedanță de valoare mare (⩾ 1000 Ω). În aceste cazuri, un defect de izolație, de punere la pământ, în circuitele de joasă tensiune alimentate de la înfășurările secundare va avea ca rezultat un curent de defect practic zero, sau de valoare neglijabilă, care poate să fie tolerat până când este posibil tehnologic să fie întrerupt circuitul afectat, pentru executarea reparației.

**Diagramele B, D și F (Figura B10)**
Arată sistemele IT în care rezistențe (de aproximativ 1000 Ω) sunt incluse în circuitul de punere la pământ a neutrului. Dacă aceste rezistențe ar fi înlăturate, astfel încât sistemul nu ar fi legat la pământ, se aplică următoarele observații.

**Diagrama B (Figura B10)**
Toate conductoarele de fază și neutru sunt în echilibru față de pământ la care sunt conectate prin (normal foarte mari) rezistențe de izolație și (normal foarte mici) capacitanțe între conductoare și părțile metalice puse la pământ.
Considerând izolația ca fiind perfectă, potențialele tuturor conductoarelor de fază și neutru vor fi ridicate prin influența electrostatică până la un potențial apropiat de cel al conductoarelor echipotențiale.
În practică, din cauza numeroaselor scurgeri spre pământ ale tuturor conductoarelor active într-un număr de circuite funcționând în paralel, sistemul se comportă în mod similar cu cazul în care este prezentă o rezistență de legare la pământ a nulului; de exemplu toate conductoarele vor fi ridicate la potențialul prizei de pământ a postului de transformare .
În acet caz solicitările de supratensiune asupra izolației la JT sunt mici sau nu există.

**Diagramele D și F (Figura B10)**
În aceste cazuri, potențialul ridicat al sistemului de legare la pământ al postului de transformare acționează asupra izolației fazelor de JT și pe conductoarele neutre:
- prin capacitatea dintre înfășurările de JT ale transformatorului și cuva transformatorului;
- prin capacitatea dintre conductoarele echipotențiale din postul de transformare și conductorul cablurilor de distribuție de JT ce părăsesc postul de transformare;
- prin căile de scurgere a curentului în izolație, în fiecare caz.

În spațiile din afara zonei de influență a sistemului de legare la pământ al postului de transformare, prezintă importanță capacitățile între conductoare și pământ la potențial zero (capacitățile dintre miezuri nu sunt relevante - toate miezurile sunt la același potențial).
Rezultatul este în sine un divizor de tensiune capacitiv, unde fiecare “condensator“ este șuntat prin căile de scurgere rezistive.
În general, capacitățile față de pământ ale cablurilor și conductoarelor din instalațiile de JT sunt mult mai mari, iar rezistențele izolației la pământ sunt mult mai mici decât acelea ale parametrilor corespunzători la posturile de transformare, astfel încât solicitările dielectrice importante care apar în postul de transformare, sunt între cuva transformatorului și înfășurarea de JT.

Creșterea de potențial în instalațiile consumatorului nu constitue o problemă acolo unde nivelul curentului de punere la pământ pe partea de MT este limitat, așa cum a fost menționat anterior.
Toate transformatoarele conectate în sistem IT, chiar dacă punctul neutru este izolat sau conectat la pământ printr-o impedanță de valoare mare, sunt în practică prevăzute cu un aparat de limitare a supratensiunii care va conecta în mod automat punctul neutru direct la pământ dacă o supratensiune se apropie de tensiunea de ținere a izolației sistemului de JT.
În completarea elementelor menționate mai sus, sunt prezentate în subparagraful 3.1 mai multe moduri în care pot apare aceste supratensiuni.
Acest tip de defect de punere la pământ este destul de rar și atunci când apare este repede detectat și eliminat de către sistemul de declanșare automată a întreruptorului dintr-o instalație proiectată și construită corespunzător.
Siguranța în exploatare în situațiile de potențial ridicat depinde în întregime de dispunerea zonelor echipotențiale ce trebuie stabilite în mod corespunzător. Acestea se bazează în principal pe utilizarea unor conductoare de cupru în formă de grilaj, conectate la bare de oțel cuprat, dispuse vertical.
Criteriul echipotențialității ce trebuie respectat este cel menționat în capitolul F referitor la protecția împotriva șocului electric prin contact indirect, definit astfel: potențialul dintre două părți metalice expuse care pot fi atinse simultan de orice parte a corpului uman nu trebuie, în nici o circumstanță, să depășească 50 V în condiții uscate sau 25 V în condiții de umiditate.
Măsuri speciale ar trebui luate la limita zonelor echipotențiale, pentru a evita diferențe mari de potențial pe suprafața solului, care pot ajunge la valori periculoase ale “tensiunii de pas”.
Problema este în strânsă legătură cu legarea la pământ de protecție a gardurilor de împrejmuire și este prezentată în detaliu în subcapitolul 3.1.

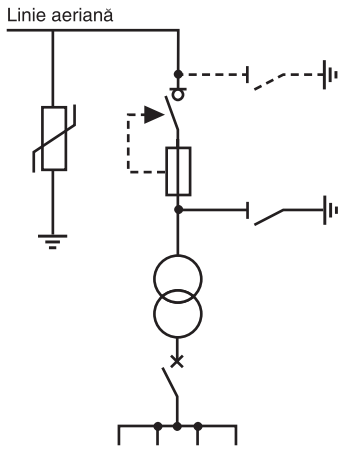



*Fig. B11: Rețea radială.*

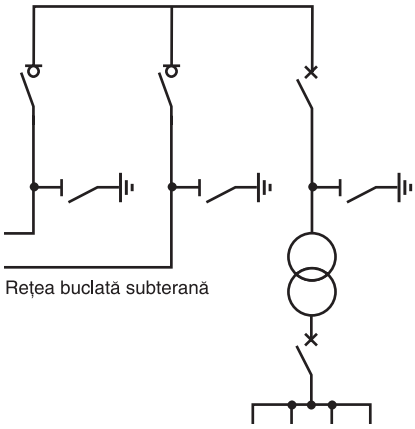



*Fig. B12: Rețea buclată.*

## 1.2 Diferite tipuri de alimentări la medie tensiune

Următoarele scheme de alimentare cu energie electrică sunt adoptate în mod obișnuit în concordanță cu tipul rețelei de medie tensiune.

### Alimentarea în vârf (radială)

Postul de transformare este alimentat de un singur circuit de la un distributor de MT (cablu sau linie). În general partea de MT este conectatată într-o celulă conținând un separator de sarcină cu siguranțe fuzibile de protecție și separator de punere la pământ, după cum se observă în **Fig. B11**.
În unele țări un transformator montat pe un stâlp fără aparate de comutație sau siguranțe fuzibile la MT constituie “postul de transformare”. Acest tip de instalație de MT este foarte comun în zonele rurale.
Aparatul de protecție și de comutație este plasat la mare distanță față de transformator și controlează în general o linie electrică aeriană principală, de la care un număr de astfel de linii secundare sunt conectate în derivație.

### Alimentarea în buclă

Echipamentele de rețea de tip “inel principal” (Ring Main Units - RMU) sunt în mod normal conectate să formeze un inel principal la MT[(2)] sau un distribuitor-interconector[(2)] astfel încât barele colectoare aferente RMU transportă tot curentul inelului principal sau al interconectorului (**Fig. B12**) .
Tipul RMU constă din trei compartimente integrate astfel încât să formeze un singur ansamblu.
Acestea sunt:
- 2 celule de intrare, fiecare conținând câte un separator de sarcină și un separator de punere la pământ;
- o celulă de ieșire și protecție conținând separator de sarcină plus siguranțe fuzibile sau o combinație separator de sarcină echipat cu siguranțe fuzibile sau un întreruptor de putere și un separator de linie, împreuna cu un separator de punere la pământ.

Toate dispozitivele de manevrare în sarcină și separatoarele de punere la pământ sunt dimensionate să reziste la solicitările produse de curentul de scurtcircuit.
Această schemă de funcționare pune la dispoziția utilizatorului două surse de alimentare cu energie electrică, în felul acesta reducându-se în mod considerabil probabilitatea de întrerupere a alimentării, datorată defectelor din sistem sau unor manevre greșite din partea furnizorului de energie, etc.
Schemele în inel au ca principal domeniu de aplicație distribuția publică, prin rețelele de cabluri subterane, din zonele urbane.

***(1)** Cuprul este electronegativ față de majoritatea celorlalte metale și astfel rezistă la cororoziune.*
***(2)** O rețea buclată este un distribuitor continuu în formă de buclă închisă la ambele capete, care începe și se termină pe aceleași bare. Fiecare capăt al buclei este controlat de către un întreruptor. Pentru a îmbunătăți flexibilitatea operațională adeseori barele sunt divizate în două secțiuni de un întreruptor în poziție normal deschis și fiecare capăt al buclei este conectat la o secțiune diferită.*
*Un interconector este un circuit continuu care conectează barele colectoare din două posturi de transformare. Fiecare capăt al unui interconector este este controlat de obicei de un întreruptor.*
*Un interconector-distribuitor este un interconector care alimentează unul sau mai multe posturi de transformare de-a lungul traseului.*

### Dublă alimentare

Acolo unde este posibil ca alimentarea pe partea de MT să fie făcută prin două linii sau cabluri de la același sistem de bare colectoare ale unui post de transformare, se utilizează în mod obișnuit o schemă similară cu cea a RMU (vezi **Fig. B13**).
Principala diferență operațională dintre această schemă și cea a RMU este că cele două căi de intrare sunt interblocate, astfel încât doar o cale de intrare poate fi conectată la un moment dat (adică conectarea unei căi împiedică conectarea celeilalte).
La întreruperea alimentării cu energie electrică, calea de intrare care era în funcțiune trebuie să fie deconectată și celălalt separator de sarcină (anterior în poziția "deschis") poate fi conectat.
Această secvență poate fi executată manual sau automat.
Acest tip de schemă de conexiune este folosită în mod particular în rețelele cu o densitate mare a consumatorilor și în zonele urbane cu o rapidă extindere, alimentate de către sisteme de cabluri subterane de MT .

## 1.3 Aspecte operaționale ale rețelelor de distribuție de medie tensiune

### Linii electrice aeriene (LEA)

Vânturile puternice, formarea chiciurii, etc., pot provoca atingerea între ele a conductoarelor liniilor aeriene (LEA), având ca efect producerea unui scurtcircuit momentan (nepermanent).
Defectele de izolație datorate spargerii izolatoarelor de sticlă sau porțelan din cauza unor particule purtate de vânt sau a utilizării neglijente a armamentului, etc., precum și poluarea masivă a suprafețelor izolatoarelor, pot avea ca efect un scurtcircuit la pământ (monofazat).
Multe din aceste avarii dispar în mod spontan. De exemplu, în condiții uscate, izolatoarele sparte pot rămâne adeseori în serviciu fără a fi detectate, dar este posibil să conturneze (ex. către o structură de fixare metalică) pe durată unei ploi torențiale. Mai mult, suprafețele poluate produc în general conturnări doar în condiții de umiditate.
Trecerea curentului de defect ia aproape în mod invariabil forma unui arc electric, a cărui căldură intensă usucă calea de curent și, într-o anumită măsură, restabilește proprietățile izolatoare. În acest timp, de obicei, aparatura de protecție a acționat pentru a indepărta defectul, de ex. siguranțele fuzibile s-au ars sau întreruptorul a declanșat.
Experiența arată că, în marea majoritate a cazurilor, realimentarea circuitului, prin înlocuirea siguranțelor fuzibile sau prin închiderea întreruptorului, va avea succes.
Din acest motiv, a fost posibil să se îmbunătățească considerabil continuitatea serviciului în cazul rețelelor de distribuție de MT care conțin linii electrice aeriene prin aplicarea unei scheme de reanclanșare automată rapidă (RAR) a întreruptorului care comandă un astfel de circuit.
Aceste scheme automate permit un număr de operații de reanclanșare, dacă prima încercare eșuează, cu un timp reglabil de întârziere între încercările succesive (pentru a permite deionizarea aerului la locul de defect), înainte ca întreruptorul să fie definitiv deconectat după toate încercările nereușite (în general 3).
Alte îmbunătățiri în continuitatea alimentării sunt obținute prin utilizarea separatoarelor de linie acționate de la distanță și prin utilizarea unor separatoare de izolare automată, ce funcționează împreună cu un întreruptor cu reanclanșare automată rapidă (în pauză de RAR).
Această ultimă schemă este exemplificată prin ultima parte a **Figurii B14** (pagina următoare).
Principiul este următorul:
Dacă după două încercări de reanclanșare circuitul nu se restabilește și defectul se dovedește a fi permanent separatorul se va deschide (în a doua pauză de RAR) și va izola o secțiune a rețelei, înainte ca a treia (și ultima) încercare de reanclanșare să aiba loc.
Există, deci, două posibilități:
- defectul este în secțiunea care a fost izolată de separatorul automat de linie (ALS, Automatic Line Switch) și alimentarea este restabilită pentru ceilalți consumatori conectați la celelalte secțiuni, sau
- defectul este într-o secțiune în amonte de separator (ALS) și întreruptorul va deconecta definitiv.

O schemă prevăzută cu un astfel de separator automat (ALS) permite astfel, în eventualitatea unui defect permanent, posibilitatea restabilirii alimentării pentru o parte din consumatori.

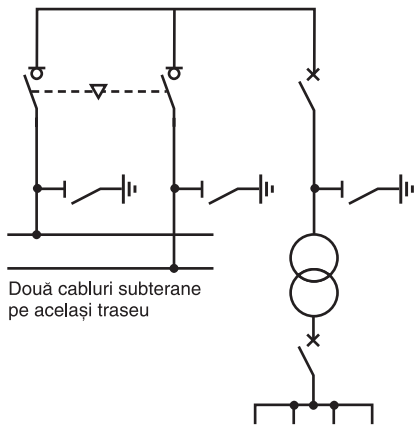



*Fig. B13: Dublă alimentare.*

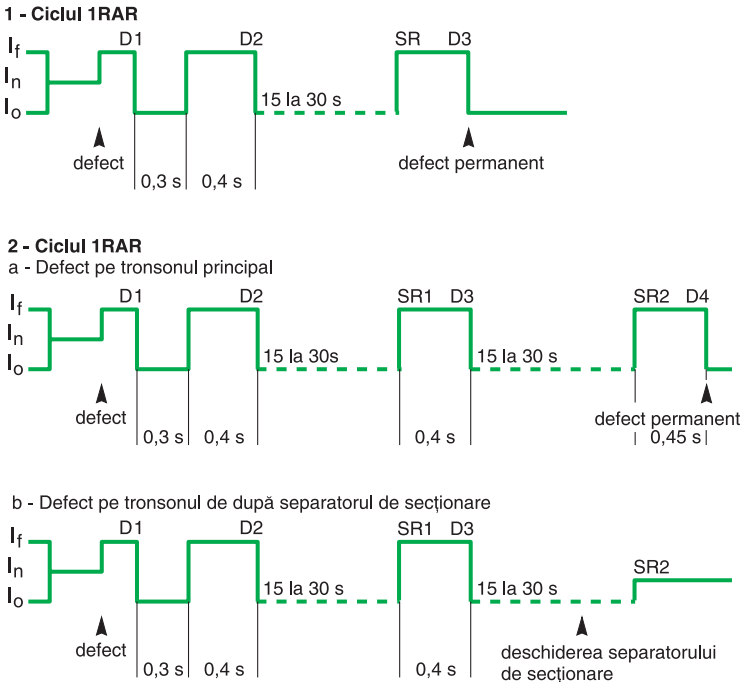



*Fig. B14: Ciclul de RAR al unui întreruptor controlând o rețea aeriană radială de MT și corelat cu un separator de secționare.*

În timp ce aceste măsuri au îmbunătățit cosiderabil fiabilitatea alimentării sistemelor cu linii electrice aeriene de MT, acolo unde se consideră necesar, consumatorii trebuie să-și ia propriile măsuri pentru a evita efectele întreruperii momentane a alimentării (între reanclanșări), cum ar fi:

- surse de energie neîntreruptibile pentru cazurile de urgență;
- sisteme de iluminat care nu necesită să fie răcite înaintea reamorsării.

## Rețelele de cabluri subterane

Defectele pe rețelele de cabluri subterane sunt uneori rezultatul executării neîngrijite a lucrărilor de manșonare a cablurilor, sau de pozare a acestora, etc. dar cele mai uzuale sunt datorate deteriorărilor produse de bare metalice, ciocane pneumatice, excavatoare și așa mai departe, folosite la executarea diferitelor lucrări.
Uneori defectele de izolație apar în capetele terminale ale cablurilor datorită supratensiunii, în particular în punctele sistemului de MT în care o linie electrică aeriană este conectata cu un cablu subteran. Supratensiunea într-un asemenea caz este în general de origine atmosferică și efectele de reflexie a undei electromagnetice la cutia de joncțiune (unde impedanța circuitului se schimbă brusc) pot avea ca rezultat o supratensiune în izolația cablului, la punctul de defect. Aparatele de protecție la supratensiune, cum sunt descărcătoarele, sunt în mod frecvent instalate în astfel de puncte.
Defectele ce apar în rețelele de cabluri sunt mai puțin frecvente decât cele ce apar la sistemele de linii electrice aeriene (LEA), dar sunt aproape invariabil defecte permanente care necesită mai mult timp pentru localizare și reparare decât cele de pe LEA.
Atunci când un defect în cablu apare pe un “inel principal”, alimentările pot fi repede refăcute pentru toți consumatorii, atunci când secțiunea defectă a cablului a fost determinată.
Atunci când defectul apare pe un distribuitor radial, întârzierea în localizarea defectului și realizarea reparației poate dura câteva ore și va afecta toți consumatorii situați în aval de poziția defectului.
În orice caz, dacă continuitatea în alimentare este esențială pentru toată instalația sau pentru o parte a ei, atunci trebuie prevăzută o sursă de alimentare de rezervă.

## Comanda de la distanță a rețelelor de MT

Controlul de la distanță a liniilor de MT este util pentru reducerea timpilor de întrerupere în cazul unor defecte în cabluri prin reconfigurarea rapidă a rețelei. Pentru aceasta este nevoie de separatoare de sarcină motorizate, telecomandate, în anumite puncte ale rețelei. Posturile de transformare comandate de la distanță vor putea fi realimentate rapid în timp ce pentru celelalte trebuie deplasată echipa de intervenție.

*Controlul centralizat bazat pe sistemele SCADA (Supervisory Control And Data Aquisition - Supraveghere Control și Achiziție de Date) și pe recentele dezvoltări ale tehnicilor IT (Information Technology - Tehnologia informației) devine din ce în ce mai folosit în țările unde complexitatea rețelelor interconectate justifică cheltuielile.*

# 2 Procedura de instalare a unui post de transformare



Marii consumatori de electricitate sunt în mod invariabil alimentați la MT.
În sistemele de JT, funcționând la 120/208 V (3 faze, 4 conductoare), o sarcină de 50 kVA poate fi considerată ca fiind “mare”, în timp ce în sistemele trifazate la 240/415 V un consumator “mare” poate avea o sarcină de 100 kVA. Ambele sisteme de distribuție la JT sunt obișnuite în multe părți ale lumii.
Este de semnalat faptul că CEI recomandă un standard “mondial” de 230/400 V pentru sistemele trifazate cu 4 conductoare. Acesta reprezintă un nivel de compromis și va permite sistemelor existente care funcționează la 220/380 V și la 240/415 V (sau la alte valori apropiate acestora) să se pună de acord cu standardul propus, prin ajustarea dispozitivelor de reglaj de tensiune ale transformatoarelor de distribuție standard.
Distanța până la care energia trebuie să fie transportată este un factor suplimentar pentru alegerea alimentării la JT sau MT. Instalațiile pentru consumatorii rurali mici dar izolați sunt exemple evidente în acest sens.
Decizia asupra alimentării la JT sau la MT va depinde de circumstanțele locale și de o serie de considerații în sensul celor menționate mai sus și va fi impusă, în general, de către autoritatea de alimentare cu energie electrică a zonei respective.
Atunci când a fost luată decizia de alimentare cu energie electrică la MT, există două soluții constructive realizabile conform următoarelor proceduri:
**(1)** Furnizorul de energie electrică construiește un post de transformare standard în apropiere de zona consumatorului dar transfomatorul este situat într-o cameră din incinta consumatorului, în apropiere de centrul de greutate al sarcinii electrice.
**(2)** Consumatorul își construiește și își echipează propriul post de transformare, pe domeniu privat, la care se conectează furnizorul de energie electrică cu partea de MT.
În metoda **(1)** furnizorul de electricitate deține postul de transformare, cablul către transformator, transformatorul precum și camera transformatorului, la care are un acces nelimitat. Camera transformatorului este construită de către consumator (pe baza planurilor și regulilor puse la dispoziție de către furnizor) și include socluri, bașe pentru scurgeri de ulei, pereți și celule antifoc, plafoane, ventilație, sistem de iluminat și sistem de legare la pământ, toate trebuind să fie aprobate de către autoritatea de furnizare a energiei electrice.
Structura tarifului poate acoperi, conform unei înțelegeri, o parte a cheltuielilor necesare pentru asigurarea alimentării cu energie electrică.
În marea majoritate a situațiilor, aceleași principii se aplică în concepția și realizarea unui astfel de proiect. Următoarele note se referă la procedura nr. **(2)**.

*Încă de la primele faze ale proiectului consumatorul trebuie să pună la dispoziția furnizorului de energie electrică informații generale asupra necesităților sale.*

## 2.1 Informații preliminare

Înainte ca orice negocieri sau discuții să poată fi inițiate cu autoritățile de furnizare a energiei electrice, următoarele elemente de bază trebuiesc stabilite:

**Puterea maximă prezumată (kVA)**
Determinarea acestui parametru este descrisă în capitolul A, și trebuie să ia în considerare posibilitatea unei cereri de introducere a unor sarcini suplimentare în viitor. Factorii care trebuie estimați în această etapă sunt:
- coeficientul de utilizare ($k_u$);
- coeficientul de simultaneitate ($k_s$).

**Planurile de ansamblu și de detaliu arătând amplasarea postului de transformare propus**
Planurile ar trebui să indice clar căile de acces la postul de transformare, cu posibilele restricții, de ex. coridoarele de intrare și înălțimea plafonului, împreună cu limitele posibile locale de greutate, având în vedere de asemenea că:
- personalul furnizorului de energie electrică trebuie să aibă oricând acces liber și nerestricționat la echipamentele de MT din postul de transformare;
- numai personalului autorizat și calificat al consumatorului îi este permis accesul la postul de transformare;
- există furnizori de energie electrică care cer ca partea de instalație exploatată de către ei să fie situată într-o cameră (incintă) separată față de partea de instalație exploatată de către consumator.

**Gradul de continuitate în alimentare cerut**
Consumatorul trebuie să estimeze consecințele unei întreruperi în alimentare, în funcție de durata sa:
- pierderi de producție;
- siguranța personalului și a echipamentului.

*Furnizorul de energie electrică trebuie să dea informații specifice viitorului consumator.*

## 2.2 Studiu de soluție

În urma informațiilor puse la dispoziție de către consumator, furnizorul de energie electrică trebuie să specifice:

**Tipul alimentării cu energie electrică propus și să specifice:**
- felul sistemului de alimentare: rețea cu linii electrice aeriene sau cabluri subterane;
- detalii despre schema de legături: alimentare în vârf, alimentare în buclă, alimentare dublă, etc.;
- limita de putere (kVA) și nivelul curentului de defect.

**Tensiunea nominală de alimentare și a echipamentului**
(Tensiunea maximă a echipamentului) existent sau viitor, depinzând de dezvoltarea sistemului.

**Detalii de măsură care definesc:**
- costul conectării la rețeaua de energie electrică;
- detalii tarifare (taxele fixe și tarifele de consum).

*Fumizorul de energie electrică trebuie să aprobe oficial atât echipamentul ce va fi instalat în postul de transformare cât și metodele propuse de instalare.*

## 2.3 Aplicare

Înainte de începerea oricărei activități de instalare trebuie obținută o aprobare oficială de la furnizorul de energie electrică. Cererea de aprobare trebuie să includă următoarele informații:
- localizarea postului de transformare propus;
- schema monofilară a circuitelor de putere și a conexiunilor aferente, împreună cu propuneri asupra circuitelor de legare la pământ;
- detalii complete despre echipamentul electric ce va fi instalat, încluzând caracteristicile de performanță;
- dispunerea echipamentului și asigurarea componentelor de măsură;
- măsuri de îmbunătățire a factorului de putere dacă acest lucru este necesar;
- facilități pentru instalarea unor surse de alimentare de rezervă, în caz de urgență, dacă acest lucru este solicitat.

*După testarea și verificarea instalației de către o autoritate (în unele țări, independentă) din acest domeniu, se acordă un certificat care permite postului de transformare să fie pus în funcțiune.*

## 2.4 Punerea în funcțiune

Testele premergătoare punerii sub tensiune trebuie să fie trecute cu succes înainte ca autoritatea să conecteze postul de transformare la sistemul energetic. Testele de verificare includ:
- măsurarea rezistenței de dispersie a prizei de pământ;
- continuitatea tuturor conductoarelor de conectare echipotențială la pământ și de siguranță;
- inspectarea și testarea tuturor componentelor de MT;
- verificarea izolației echipamentului de MT;
- testarea rezistenței dielectrice a transformatorului în ulei (și a rigidității dielectrice a uleiului dacă este cazul);
- inspectarea și testarea instalației de JT din postul de transformare;
- verificarea tuturor interblocajelor (mecanice sau electrice) și a tuturor secvențelor de lucru automat;
- verificarea funcționării corecte a releelor de protecție și a reglajelor aferente.

Este, de asemenea, imperativ necesar să se verifice dacă tot echipamentul este furnizat astfel încât orice manevră operațională să poate fi executată în condiții sigure.
La primirea certificatului de conformitate:
- personalul autorității furnizoare de electricitate va alimenta cu energie electrică echipamentul de MT și va verifica funcționarea corectă a aparaturii de măsură;
- contractorul instalației este responsabil de testarea și conectarea instalației de JT.

Când în final postul de transformare este funcțional:
- postul de transformare și tot echipamentul aparțin consumatorului;
- autoritatea furnizoare de electricitate are “controlul funcțional asupra tuturor aparatelor de comutație la MT din postul de transformare”, de ex. cele două separatoare de sacină de intrare și cel corespunzător transformatorului, pe partea de MT, (sau a întreruptorului) în cazul unei scheme în inel principal, împreună cu toate separatoarele de punere la pământ aferente părții de MT;
- personalul furnizorului de electricitate are acces liber la echipamentul de MT;
- consumatorul are acces independent numai asupra separatorului de MT (sau întreruptorului de MT) corespunzător transformatorului;
- consumatorul este responsabil pentru întreținerea tuturor echipamentelor din postul de transformare și trebuie să ceară autorității furnizoare de electricitate să izoleze și să conecteze la pământ aparatajul de comutație pentru a permite desfășurarea lucrărilor de întreținere. Furnizorul de electricitate trebuie să înmâneze un permis de lucru semnat pentru personalul de întreținere al consumatorului, împreună cu informații asupra modului de realizare a distanțelor de izolare și asupra nivelului de izolație la care a fost realizată instalația.

# 3 Aspectul protecțiilor



Subiectul relativ la protecția instalațiilor electrice industriale este foarte vast; acesta acoperă toate aspectele de siguranță a personalului și protecția împotriva deteriorării parametrilor funcționali ai echipamentului electric și ai construcțiilor aferente.
Aceste aspecte diferite ale protecției pot fi în general clasificate în concordanță cu următoarele obiective:
- protecția utilizatorilor și a animalelor împotriva pericolelor de supratensiuni și șoc electric, foc, explozii, gaze toxice, etc.;
- protecția instalațiilor, a echipamentului și componentelor sistemului electroenergetic împotriva solicitărilor datorate curenților de scurtcircuit, a supratensiunilor atmosferice (trăsnetelor) și a instabilității sistemului energetic (ieșirea din sincronism), etc.;
- protecția personalului și a echipamentului electric împotriva pericolelor de manevrare incorectă a sistemului energetic, prin folosirea interblocajelor electrice și mecanice. Toate tipurile de aparate de comutație (incluzând, de ex. comutatoarele de ploturi ale transformatoarelor și altele) trebuie să aibă definite limitele de funcționare. Aceasta înseamnă că ordinea în care diferitele tipuri de aparate de comutație pot fi închise sau deschise în condiții de siguranță, este o chestiune de importanță vitală. Dispozitivele de interblocare și circuitele de control electric analogice sunt în mod frecvent utilizate pentru a asigura concordanța strictă cu succesiunea corectă de operare.

Descrierea tehnică detaliată a numeroaselor scheme de protecție disponibile inginerilor energeticieni depășește scopul acestei lucrări, dar se speră că următoarele secțiuni se vor dovedi utile, printr-o prezentare a principiilor generale.
În timp ce câteva din dispozitivele de protecție menționate au o aplicare universală, descrierile generale se vor limita doar la acelea utilizate în mod obișnuit la sistemele de MT și JT, cum au fost ele definite în subparagraful 1.1 al acestui capitol.

*Protecția împotriva șocurilor electrice și la supratensiuni este strâns legată de obținerea unui sistem eficient de legare la pământ (rezistență de dispersie mică) și aplicarea efectivă a principiului echipotențializării mediilor.*

## 3.1 Protecția împotriva șocurilor electrice

Măsurile de protecție împotriva șocurilor electrice se referă la două pericole obișnuite:
- atingerea de un conductor activ, adică care este la un potențial diferit de cel al pământului în condiții normale. Aceasta se consideră riscul de “atingere directă”;
- atingerea de o parte conductoare a unui aparat care în mod normal nu este sub tensiune, dar care poate avea un potențial periculos datorită degradării izolației aparatului respectiv. Este ceea ce numim risc de “atingere indirectă”.

Ar putea fi de notat că un al treilea tip de risc de șoc electric poate să existe în apropierea prizelor de pământ la MT sau JT (sau combinate) care sunt traversate de curenți de punere la pământ. Acest risc se datorează gradienților de potențial pe suprafața solului și este denumit risc al “tensiunii de pas”; curentul de șoc intră printr-un picior și se scurge prin celălalt, fiind periculos în mod particular pentru animalele cu patru picioare. O variantă a acestui pericol, cunoscut ca un risc al “tensiunii de atingere” poate să apară, de exemplu, acolo unde o parte metalică conectată la pământ este situată într-o zonă în care există gradienți de potențial. Atingerea acesteia ar putea provoca un șoc de curent ce va trece prin mână și prin ambele picioare.
Animalele cu o lungime relativ mare a deschiderii dintre picioarele din față și cele din spate sunt în mod particular sensibile la riscul tensiunii de pas și au fost cazuri în care vitele au fost omorâte de către gradienți de potențiali cauzați de o tensiune joasă (240/415 V) la care priza de pământ era de o rezistență insuficient de mică.
Problemele gradienților de potențial de tipul celor menționate mai sus nu sunt în mod normal întâlnite la instalațiile electrice ale clădirilor. În acest caz se prevăd conductoare de egalizare a potențialelor care leagă în mod corespunzător părțile metalice ale echipamentelor și structurilor metalice exterioare la conductorul de protecție de legare la pământ.

### Protecția la atingerea directă sau protecția de bază

Principala formă de protecție împotriva riscurilor de atingere directă se face prin introducerea tuturor părților active în materiale izolante sau prin introducerea lor în carcase metalice legate la pământ, prin plasarea acestora în afara posibilității de atingere (în spatele barierelor izolatoare, în vârful unor stâlpi) sau prin obstacole specifice.
Acolo unde părțile active izolate sunt introduse într-o carcasă metalică, de exemplu transformatoare, motoare și multe alte aparate casnice, carcasa metalică este legată la sistemul de legare la pământ.
Pentru echipamentele de MT, standardul CEI 62271-200 (Aparataj de comutație în anvelopă metalică până la 52 kV) specifică un index de protecție minim (sistem IP) de IP2X pentru a fi asigurată protecția împotriva contactului direct. Mai mult, anvelopa metalică trebuie să prezinte continuitate electrică și o bună separare între interior și exterior. Împământarea corespunzătoare a carcasei contribuie la protecția operatorilor în condiții normale de funcționare.
Pentru echipamentele de JT aceasta se obține prin intermediul contactului lateral al prizei și ștecherului.
Deteriorarea totală sau parțială a izolației poate (depinzând de gradul de rezistență al căii de scurgere prin izolație, de rezistența dintre carcasa metalică și pământ) să mărească tensiunea carcasei până la un nivel periculos.

### Protecţia la atingerea indirectă sau protecţia în caz de defect

O persoană care atinge carcasa metalică a unui aparat a cărui izolaţie este defectă aşa cum s-a descris anterior se află în situatia de “atingere indirectă”.
O situaţie de atingere indirectă este caracterizată de faptul că o cale de curent către pământ există (prin conductorul de protecţie la pământ PE) în paralel cu curentul de şoc prin persoana respectivă.

**Cazul defectului în sistemele de JT**
Teste multiple au arătat că, în condiţiile în care potenţialul carcasei metalice faţă de pământ nu este mai mare de 50 V*(1)* sau se asigură distanţa de protecţie la orice parte conductoare din punct de vedere electric, nu există nici un pericol.

**Riscul atingerii indirecte în cazul unui defect la MT**
Dacă pierderea izolaţiei într-un aparat este între un conductor de MT şi carcasa metalică nu va fi în general posibil să se limiteze creşterea de tensiune a carcasei la 50 V într-un mod simplu, prin reducerea rezistenţei de dispersie a prizei de pământ. Soluţia în acest caz este să se creeze o legătură de egalizare a potenţialelor, ca cea descrisă în subcapitolul 1.1 “scheme de legare la pământ”.

## 3.2 Protecţia transformatoarelor şi circuitelor

### Generalităţi

Circuitele şi echipamentul dintr-un post de transformare trebuie să fie protejate astfel încât curenţii şi/sau tensiunile excesive să fie rapid eliminate din sistem înainte de a genera pericole, daune sau distrugeri. Toate echipamentele utilizate în mod normal în instalaţiile de putere au valori (standardizate) admisibile, de scurtă durată, pentru funcţionarea în condiţii de supracurent şi supratensiune, iar rolul schemelor de protecţie este să asigure ca aceste limite nu vor fi depăşite. În general asta înseamnă că situaţiile de defect trebuiesc îndepărtate cât mai rapid posibil, fără a omite să se asigure coordonarea între dispozitivele montate în amonte şi aval. Aceasta înseamnă că la un defect în reţea doar un singur dispozitiv trebuie să acţioneze, deşi curentul de defect este simţit de mai multe aparate.
Aceste dispozitive pot fi:
- fuzibile care elimină defectul direct sau asociate cu un separator de sarcină printr-un dispozitiv mecanic, care deschide toate cele trei faze;
- relee care acţionează asupra bobinei de declanşare a unui întreruptor.

### Protecţia transformatorului

**Solicitări datorate reţelei de alimentare**
Anumite supratensiuni tranzitorii pot apărea în reţea:
- supratensiuni tranzitorii atmosferice.

Supratensiunile tranzitorii atmosferice provin dintr-o lovitură de trăsnet în apropiere de o linie electrică aeriană;
- supratensiuni tranzitorii de comutaţie.

O schimbare bruscă în condiţiile de funcţionare ale unei reţele electrice produce fenomene tranzitorii.

Pentru ambele tipuri de supratensiuni, dispozitivul de protecţie utilizat este un varistor (descărcător cu oxid de zinc, ZnO).
În cele mai multe cazuri protecţia la supratensiuni nu influenţează aparatajul de comutaţie.

**Solicitări datorate sarcinii**
Fenomenul de suprasarcină este datorat în mod frecvent cererii concomitente de energie în cazul unui număr mare de mici consumatori sau este datorată creşterii cererii de putere aparentă (kVA) a unei instalaţii din cauza extinderii unei fabrici, sau ca urmare a extinderii clădirilor, etc. Apariţia suprasarcinilor ridică temperatura conductoarelor din circuitele afectate, precum şi pe cea a materialelor izolatoare. Când temperatura depăşeşte limitele normale de proiectare ale echipamentului implicat rata de deteriorare (îmbătrânirea materialelor izolante) creşte şi durata de viaţă a echipamentului este redusă în mod corespunzător.
Dispozitivele de protecţie împotriva suprasarcinilor pot fi amplasate în partea primară sau secundară a transformatorului.
Protecţia împotriva suprasarcinii a unui transformator este asigurată de către un releu digital care determină deconectarea întreruptorului din secundarul transformatorului. Timpul de întârziere intrinsec realizat de acest releu determină ca transformatorul să nu fie în mod necesar deconectat din cauza unor suprasarcini de scurtă durată. Aşa numitele relee cu “imagine termică” simulează temperatura ţinând cont de constanta transformatorului. Alte relee pot lua în considerare şi efectele curenţilor armonici datoraţi sarcinilor neliniare (redresoare, echipament de calcul, variatoare de viteză, etc.). Releele pot, de asemenea, să dea predicţii ale timpului rămas până la declanşare precum şi a timpului de aşteptare înainte de reconectare. Aceste informaţii sunt de un real folos în exploatarea echipamentului.

***(1)*** *În zone uscate, 25 V în locuri umede (săli de baie, etc.).*

*Fig. B15: Transformator cu conservator de ulei.*

*Fig. B16: Transformator cu umplere totală (etanș).*

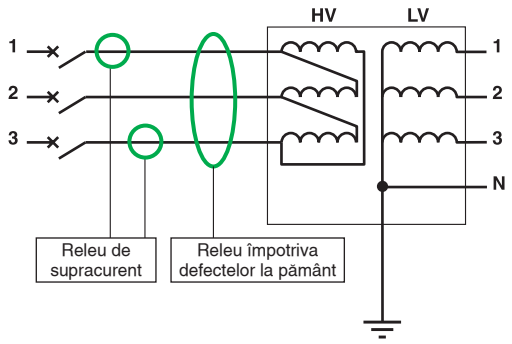



*Fig. B17: Protecția împotriva punerii la pământ a înfășurării de medie tensiune.*

În completare, transformatoarele mari cu înfășurările imersate în ulei au în mod frecvent termostate cu două nivele, unul pentru alarme și celălalt pentru declanșare. Transformatoarele uscate folosesc senzori de temperatură înglobați în partea cea mai caldă a izolației înfășurărilor, pentru alarme și/sau deconectare.

**Defecte interne**

Protecția transformatoarelor împotriva defectelor interne, prin dispozitive montate pe transformator este asigurată la transformatoarele care sunt prevăzute cu conservator cu aer la presiunea atmosferică (vezi **Figura B15**), prin relee mecanice clasice Buchholz. Aceste relee pot detecta o ușoară acumulare de gaze care rezultă din disocierea uleiului sub acțiunea arcului electric la defectele incipiente din izolația înfășurărilor sau din intrarea aerului datorită unei scurgeri de ulei. Primul nivel de detectare dă în general alarma, dar dacă condițiile de avarie persistă, al doilea nivel de detectare va determina deconectarea întreruptorului din amonte.
O detectare a unui val de ulei de către releeul Buchholz va deconecta instantaneu întreruptorul din amonte, dacă valul de ulei apare în conducta de legătura dintre rezervorul principal și conservator.
Un asemenea val poate să apară doar datorită deplasării uleiului, deplasare cauzată de o formare rapidă a bulelor de gaz generate de către un arc electric în ulei, datorat unui curent de scurtcircuit.
Toate transformatoarele sunt prevăzute cu câteva tipuri de dispozitive de suprapresiune, care limitează presiunea maxima la o valoare mult sub cea la care rezervorul transformatorului cedează din punct de vedere mecanic.
Printr-o proiectare specială a elementelor radiatorului de răcire a uleiului, tipuri de transformatoare cu “umplere totală” din gama de putere până la 10 MVA sunt acum fabricate în mod curent.
Dilatarea uleiului nu are ca efect o creștere excesivă a presiunii, datorită efectului “de burduf” al elementelor radiatorului.
O descriere completă a acestor transformatoare este dată în subcapitolul 4.4 (vezi **Figura B16**).
În mod evident aparatele Buchholz menționate mai sus nu pot fi aplicate acestui tip de transformator; totuși o alternativă modernă a fost dezvoltată. Aceasta măsoară:
- acumularea de gaz;
- suprapresiunea;
- supratemperatura.

Primele două condiții deconectează întreruptorul din amonte iar ultima deconectează întreruptorul din avalul transformatorului.
Dispozitivul este denumit DGPT (Detecție de Gaz, Presiune și Temperatură).

**Scurtcircuit intern fază-fază**

Scurtcircuitul intern fază-fază trebuie detectat și eliminat de către:
- cele trei fuzibile de medie tensiune din amonte de transformator;
- un releu maximal de curent care declanșează întreruptorul din amonte de transformator.

**Scurtcircuit intern fază-pământ**

Acesta este cel mai frecvent tip de defect intern. El trebuie detectat de un releu de detecție a punerii la pământ.
Curentul de defect la pământ este calculat ca sumă a celor trei curenți primari (dacă sunt utilizate trei transformatoare de curent) sau de către un transformator sumator (tor homopolar) specific. Dacă este necesară o sensibilitate deosebită se va utiliza un transformator sumator specific, în combinație cu două transformatoare pe două faze, pentru protecția la scurtcircuitul fază-fază.

## Protecția circuitelor

Protecția circuitelor din aval de transformator trebuie să se facă în concordanță cu cerințele din standardadul CEI 60364.

## Selectivitatea dintre dispozitivele de protecție din amonte și din aval de transformator

Postul de transformare de tip abonat cu dispozitive de măsură la JT necesită o funcționare selectivă între siguranțele fuzibile la MT sau întreruptorul de MT și întreruptor sau siguranțele fuzibile de pe partea de JT. Siguranțele fuzibile la MT se vor alege în concordanță cu caracteristicile transformatorului.
Caracteristicile de declanșare ale întreruptorului de JT trebuie astfel alese încât pentru o suprasarcină sau un scurtcircuit din avalul său, întreruptorul să declașeze suficient de rapid, pentru a se asigura că siguranțele fuzibile la MT nu vor fi afectate de trecerea supracurentului prin ele.
Curbele de performanță la declanșare pentru siguranțele fuzibile la MT sau întreruptorului de MT și întreruptoarele de JT sunt date prin grafice de tipul: timpul de operare funcție de curentul care le străbate. Ambele curbe au în general o formă timp/curent inversă (cu o discontinuitate abruptă pe curba întreruptorului la o valoare a curentului peste care apare declanșarea “instantanee”).

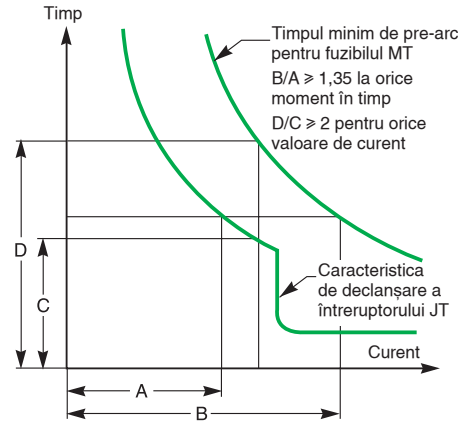



*Fig. B18: Selectivitatea între fuzibilii de MT şi declanşarea întreruptorului JT, pentru protecţia transformatorului.*

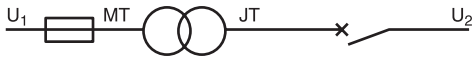



*Fig. B19: Configuraţie cu fuzibil pe MT şi întreruptor automat pe JT.*

Aceste curbe tipice sunt aratate în **Figura B18**.

■ Pentru a obţine selectivitatea:
Curba siguranţei fuzibile de MT trebuie să fie deasupra şi în dreapta curbei întreruptorului JT.

■ Pentru a nu fi afectate siguranţele fuzibile (adică nedeteriorate):
Toate părţile curbei de pre-arc a siguranţei fuzibile trebuie să fie situate în dreapta curbei întreruptorului printr-un factor de 1,35 sau mai mult (de exemplu în cazul în care, la momentul T, curba întreruptorului trece printr-un punct corespunzător valorii de 100 A, curba fuzibilului la acelaşi moment de timp T trebuie să treacă printr-un punct corespunzând la 135 A sau mai mult) şi toate segmentele curbei siguranţei fuzibile trebuie să fie deasupra curbei întreruptorului printr-un factor de 2 sau mai mult (de exemplu unde la o valoare a curentului I curba întreruptorului trece printr-un punct corespunzând la 1,5 sec., curba fuzibilului, la aceeaşi valoare a curentului I trebuie să treacă printr-un punct corespunzând la 3 sec. sau mai mult etc.).
Factorii 1,35 şi 2 sunt bazaţi pe toleranţe maxime standard de fabricaţie pentru siguranţele fuzibile MT şi întreruptoare de joasă tensiune.
Pentru a putea compara cele două curbe, curenţii de MT trebuiesc să fie raportaţi în curenţi de JT echivalenţi, sau invers.
Când pe JT se utilizează combinaţia separator de sarcină cu fuzibile, trebuie respectate condiţii similare de separare între caracteristicile de MT şi JT ale fuzibilelor.

■ Pentru a nu declanşa întreruptorul MT:
Toate părţile curbei de pre-arc a siguranţei fuzibile trebuie să fie situate în dreapta curbei întreruptorului printr-un factor de 1,35 sau mai mult (de exemplu în cazul în care, la momentul T, curba întreruptorului JT trece printr-un punct corespunzător valorii de 100 A, curba întreruptorului MT la acelaşi moment de timp T trebuie să treacă printr-un punct corespunzând la 135 A sau mai mult) şi toate segmentele întreruptorului MT trebuie să fie deasupra curbei întreruptorului JT (timpul întreruptorului JT trebuie să fie sub timpul întreruptorului MT cu 0,3 sec.).
Factorii 1,35 şi 0,3 sunt bazaţi pe toleranţe maxime standard de fabricaţie pentru transformatoarele de curent, releele de protecţie şi întreruptoarele de JT.
Pentru a putea compara cele două curbe, curenţii de MT trebuiesc să fie raportaţi în curenţi de JT echivalenţi, sau invers.
Unde este utilizat un întreruptor cu siguranţe fuzibile de JT, o separare similară a curbelor caracteristice ale siguranţelor de MT şi JT trebuie să fie respectată.

### Alegerea dispozitivelor de protecţie pe partea primară a transformatorului

Aşa cum s-a explicat mai sus, pentru un curent de referinţă mic protecţia poate fi realizată cu fuzibili sau cu întreruptor. Atunci când curentul de referinţă este mare atunci protecţia va fi realizată cu întreruptor automat. Protecţia prin întreruptor automat pentru transformator este mai sensibilă în comparaţie cu fuzibilele. Implementarea ulterioară a unor protecţii adiţionale (punere la pământ, suprasarcină termică, etc.) este mai uşoară cu întreruptor automat.

## 3.3 Interblocaje şi operaţii condiţionate

Aparatele de comutaţie instalate în posturi de transformare sunt prevăzute cu interblocaje mecanice şi electrice care sunt incluse în structura mecanismului şi a circuitelor de comandă. Acestea constituie o măsură de protecţie împotriva unor secvenţe de manevră incorecte, executate de personalul de exploatare.
Protecţia mecanică între funcţii localizate pe echipamente diferite (exemplu celulă şi transformator) este furnizată de un interblocaj prin cheie.
O schemă de interblocaj este creeată pentru a preveni orice manevră incorectă. Manevrele incorecte pot expune personalul de exploatare unor pericole sau pot provoca incidente electrice.

### Interblocaje de bază

Funcţiile de interblocaj esenţiale pot fi introduse într-o unitate funcţională dată; o parte din aceste funcţii sunt obligatorii conform CEI 62271-200, iar altele sunt opţionale pentru utilizator.
De exemplu, accesul într-un tablou de MT implică un anume număr de operaţii care trebuie efectuate într-o ordine predeterminată. Pentru a readuce sistemul la situaţia iniţială trebuie efectuat acelaşi număr de operaţii, în sens invers. Fie procedurile adecvate, fie interblocajele dedicate pot asigura desfăşurarea operaţiilor în secvenţa corectă. Apoi acest tablou va fi clasificat “accesibil prin interblocaje” sau “accesibil prin procedură”. Chiar şi pentru utilizatorii cu proceduri corecte şi riguroase, utilizarea interblocajelor poate furniza un ajutor pentru siguranţa operatorilor.

## Interblocajul prin cheie

Dincolo de interblocajele intrinseci ale unei unităţi funcţionale (a se vedea subcapitolul 4.2) cea mai utilizată formă de interblocaj este în prezent principiul “interblocaj prin cheie” (transferul cheii).
Principiul se bazează pe posibilitatea de a elibera sau bloca una sau mai multe chei, în funcţie de realizarea sau nu a condiţiilor de asigurare a siguranţei în exploatare. Aceste condiţii pot fi combinate în secvenţe unice şi obligatorii, garantându-se în acest mod siguranţa personalului, prin eliminarea posibilităţii de a efectua operaţii incorecte.
Nerespectarea secvenţelor de manevră în aceste cazuri poate avea consecinţe extrem de grave asupra personalului de exploatare, precum şi asupra echipamentului în cauză.
**Notă:** Este important să se prevadă o schemă de interblocare încă din primele etape de proiectare a postului de transformare MT/JT. În acest sens aparatele de comutaţie vor fi echipate din fabricaţie, într-o manieră unitară, cu chei şi dispozitive de blocare.

## Continuitatea în serviciu

Pentru un tablou electric dat, definiţia compartimentelor accesibile ca şi condiţiile de acces furnizează bazele clasificării “pierderea continuităţii în serviciu” aşa cum este definită de standardul CEI 62271-200. Utilizarea interblocajelor sau doar a procedurilor corecte nu are influenţă asupra continuităţii în serviciu. Numai cerinţa de a accesa o parte dată a tabloului, în condiţii normale de operare, implică condiţii limitative care pot fi mai mult sau mai puţin severe din punct de vedere al continuităţii în alimentarea cu energie electrică.

## Interblocaje în posturile de transformare

Într-un post de transformare de distribuţie MT/JT care include:
■ o singură celulă de intrare la MT sau două celule (două linii în paralel) sau două celule tip “inel principal” care includ circuitele de intrare şi de ieşire;
■ o celulă care conţine echipamentul de comutaţie şi protecţie al transformatorului. Acesta poate include un separator de sarcină şi siguranţe fuzibile de MT plus un separator de punere la pământ, sau un întreruptor şi un separator de linie, plus un separator de punere la pământ.
■ compartimentul transformatorului.

Interblocajele permit manevre şi acces la diferitele celule în condiţiile următoare:

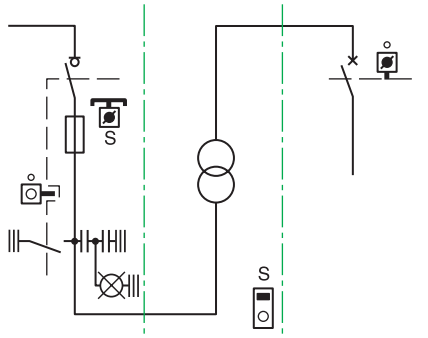
**Interblocaje de bază, incluse într-o singură unitate funcţională**
■ comanda separatorului de sarcină:
☐ dacă uşa celulei este închisă şi separatorul de punere la pământ asociat este deschis;
■ comanda separatorului de linie din celula echipamentelor de comutaţie şi protecţie ale transformatorului:
☐ dacă uşa celulei este închisă, şi
☐ dacă întreruptorul este deschis şi separatorul(oarele) de punere la pământ este (sunt) deschis(e);
■ închiderea unui separator de punere la pământ:
☐ dacă separatorul(oarele) asociat(e) care asigură separarea (izolarea) liniei este (sunt) deschis(e)*(1)*;
■ accesul în interiorul fiecărei celule, dacă au fost prevăzute interblocaje:
☐ dacă separatorul care asigură izolarea celulei este deschis şi separatorul(oarele) de punere la pământ din celula este (sunt) închis(e);
■ închiderea uşii fiecărei celule sau compartiment dacă au fost prevăzute interblocaje
☐ dacă separatorul(oarele) de punere la pământ este (sunt) închis(e).

**Interblocaje funcţionale implicând câteva unităţi funcţionale sau echipamente separate**
■ accesul la terminalele unui transformator MT/JT:
☐ dacă separatorul care asigură izolarea celulei este deschis şi separatorul de punere la pământ din celulă este închis,
☐ ţinând cont de posibilitatea unui retur din partea de JT, poziţia deschis a întreruptorului general de JT poate fi necesară.

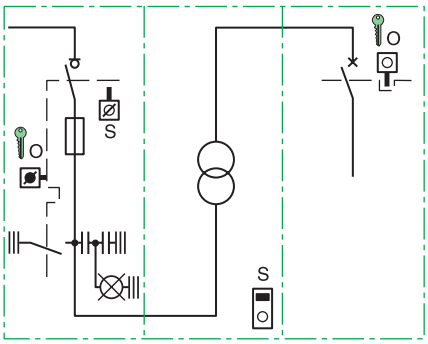
## Exemplu practic

Într-un post de transformare tip abonat, cu echipament de măsură la JT, schema de interblocare cel mai des folosită este tipul MT/JT/TR (medie tensiune/joasă tensiune/ transformator).
Obiectivele interblocării sunt:
■ împiedicarea accesului în compartimentul transformatorului dacă separatorul de punere la pământ nu a fost închis în prealabil;
■ împiedicarea închiderii separatorului de punere la pământ din celula de comandă şi protecţie a transformatorului, dacă întreruptorul de pe JT al transformatorului nu a fost în prealabil blocat în poziţia “deschis” sau “debroşat”.

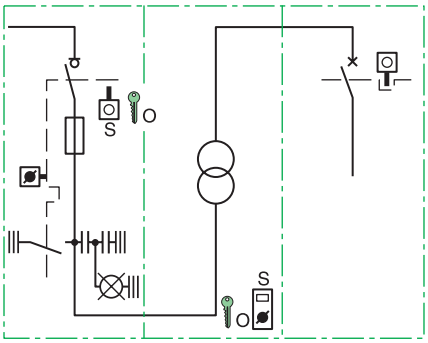
*(1) Dacă separatorul de legare la pământ este pe un circuit de sosire, separatoarele de secţionare asociate se află la ambele capete ale acestui circuit şi ar trebui, deci interblocate cu acest separator; în această situaţie funcţia de interblocaj se realizează prin cheie.*




Separatorul MT și întreruptorul general JT închise




Fuzibilele MT accesibile




Terminalele transformatorului MT accesibile

Legendă

- Cheie absentă
- Cheie liberă
- Cheie captivă
- Panou (celulă) sau ușă

*Fig. B20: Exemplificarea unui interblocaj MT/JT/Trafo*

Accesul la bornele de MT sau de JT ale unui transformator protejat în amonte de o celulă de MT (care conține un separator de sarcină de MT, siguranțe de MT și un separator de punere la pământ) trebuie condiționat conform procedurii descrise anterior.
Acest lucru este prezentat în schemele din **Fig. B20**.
**Notă:** Transformatorul din acest exemplu are bornele de MT prevăzute cu un sistem de piese de contact tip broșă care pot fi deconectate numai prin deblocarea unui dispozitiv de reținere, comun pe cele trei faze(1).
Separatorul de sarcină de MT este interblocat mecanic cu separatorul de MT de punere la pământ, astfel încât numai unul dintre ele poate fi închis, închiderea unuia blochează automat închiderea celuilalt.
Procedura de separare vizibilă și legarea la pământ a transformatorului de putere, și demontarea pieselor de contact tip broșe prevăzute cu protecție izolantă (sau carcasă izolantă de protecție).

**Condiții inițiale:**
- separatorul de sarcină de MT și întreruptorul de JT sunt închise;
- separatorul de punere la pământ, blocat în poziția “deschis” prin cheia “0”;
- cheia “0” este captivă la întreruptorul de JT, atât timp cât acesta este închis.

**Secvența 1**
- se deschide întreruptorul de JT și se blochează în poziția “deschis” cu cheia “0”;
- cheia „0” este eliberată.

**Secvența 2**
- se deschide separatorul de sarcină de MT;
- se verifică dacă indicatoarele de prezență a tensiunii s-au stins după deschiderea separatorului de MT.

**Secvența 3**
- se deblochează separatorul de punere la pământ de MT, prin cheia “0” și se închide;
- cheia “0” este acum captivă.

**Secvența 4**
Celula siguranțelor fuzibile de MT este acum accesibilă (închiderea separatorului de punere la pământ permite îndepărtarea panoului frontal). Cheia “S”, care se află în această celulă, este captivă când separatorul de sarcină MT este închis.
- se acționează cheia “S” pentru a bloca separatorul de sarcină de MT în poziția “deschis”;
- cheia “S” este acum eliberată.

**Secvența 5**
Cheia “S” permite demontarea dispozitivului comun de zăvorâre a pieselor de contact de la bornele transformatorului sau a piesei izolante comune de protecție.
În orice situație în care bornele transformatorului ar fi direct accesibile, cheia “S” va fi captivă împiedicând manevrele prezentate anterior.

Rezultatul procedurii descrise anterior este următorul:
- separatorul de sarcină de MT este blocat în poziția deschis prin cheia “S”. Cheia “S” este captivă de dispozitivul de interblocare al terminalelor JT ale transformatorului, atât timp cât bornele acestuia sunt accesibile;
- separatorul de punere la pământ, de MT, este în poziția “închis” dar nu este blocat, adică ar putea fi închis sau deschis. Pe durata unor lucrări de întreținere se folosește de regulă blocarea acestuia în poziția închis, cu ajutorul unui lacăt. Cheia lacătului este de regulă în păstrarea inginerului care supraveghează lucrările;
- întreruptorul de joasă tensiune este blocat în poziția “deschis” prin cheia “0” care este captivă la separatorul de punere la pământ, în poziția închis. În acest mod, transformatorul este separat și conectat la pământ, în deplină siguranță.

Este de notat că bornele de intrare ale separatorului de sarcină pot rămâne sub tensiune, pe durata procedurii descrise. Acest fapt este permis pentru că separatorul cu bornele în cauza este plasat într-un compartiment separat, inaccesibil personalului neabilitat. Orice altă soluție tehnică care lasă expuse terminalele într-un compartiment accesibil va necesita scoaterea de sub tensiune și interblocarea.

*(1) Sau pot fi prevăzute cu o carcasă izolantă de protecție, comună pentru cele trei faze.*

# 4 Post de transformare tip abonat cu măsură pe JT



## 4.1 General

Un post de transformare de tip abonat cu contorizare la JT este o instalație conectată la rețeaua electrică de distribuție publică având tensiunea nominală între 1 kV și 35 kV. Acesta este prevăzut cu un transformator MT/JT, care în general are o putere ce nu depășește 1250 kVA.

### Funcţiuni

**Postul de transformare**

Toate părţile componente ale postului de transformare sunt plasate într-o cameră situată fie într-un imobil existent, fie sub forma unei construcţii prefabricate exterioare.

**Conectarea la rețeaua de MT**

Conectarea la MT se poate realiza:
- fie printr-un singur cablu sau linie aeriană, sau
- prin două separatoare de sarcină, interblocate mecanic, care sunt conectate prin două cabluri la un sistem dublu de alimentare, sau
- prin două separatoare de sarcină care fac parte dintr-un sistem de alimentare în buclă - tip RMU (Ring Main Unit).

**Transformatorul**

Ţinând seama că transformatoarele cu izolaţie conţinând PCB[1] sunt interzise în majoritatea ţărilor, soluţiile tehnologice disponibile sunt:
- transformatoare în ulei, destinate amplasării în exterior;
- transformatoare uscate, cu izolaţie în răşină turnată sub vid, destinată posturilor de transformare de tip interior, cum ar fi imobile cu destinaţie comercială, clădiri destinate publicului, etc.

**Contorizare**

Contorizarea la JT permite folosirea unor transformatoare de măsură de dimensiuni reduse şi nu prea scumpe.
Majoritatea sistemelor de tarifare ţin seama de pierderile transformatoarelor de putere.

**Echipamentul instalaţiei de JT**

Un întreruptor de putere la JT, de preferinţă cu element de separare vizibilă la poziţia “deschis” şi posibilitatea de blocare în această poziţie, cu următoarele funcţii:
- să alimenteze un tablou de distribuţie;
- să protejeze transformatorul la suprasarcină, precum şi circuitele din aval împotriva scurtcircuitelor.

### Scheme monofilare

Schemele de pe pagina următoare (**Figura B21**) reprezintă cele patru metode de conectare la reţeaua de medie tensiune:
- radial;
- radial cu extensie pentru buclă;
- două cabluri în paralel;
- în buclă.

## 4.2 Alegerea celulelor

### Standarde şi specificaţii

Aparatele de comutaţie şi echipamentele descrise mai jos au tensiuni nominale între 1 kV şi 24 kV şi sunt conforme cu următoarele standarde internaţionale:
CEI 62271-200, 60265-1, 60694, 62271-102, 62271-105.
Reglementări locale pot specifica de asemenea conformitatea cu standardele naţionale cum ar fi :

| | |
|---|---|
| ■ Franţa | UTE |
| ■ Marea Britanie | BS |
| ■ Germania | VDE |
| ■ Statele Unite ale Americii | ANSI |

### Tipuri de echipamente

În afara celulelor RMU prezentate mai devreme se mai utilizează celule cu compartimentare modulară, care permit montarea oricărei combinaţii de aparate de comutaţie, precum şi realizarea facilă a unor extensii în viitor.
Posturile de transformare cu celule compacte se recomandă în special în următoarele cazuri:
- reţea buclată sau reţea radială.
- condiţii de exploatare deosebite, cum ar fi climat sever sau grad înalt de poluare (izolaţie integrală).
- spaţiu insuficient pentru tablouri de distribuţie clasice.

Acest echipament se remarcă prin dimensiuni reduse, funcţiuni integrate unitar şi flexibilitate operaţională.

*(1) Bifenil-policlorinat.*

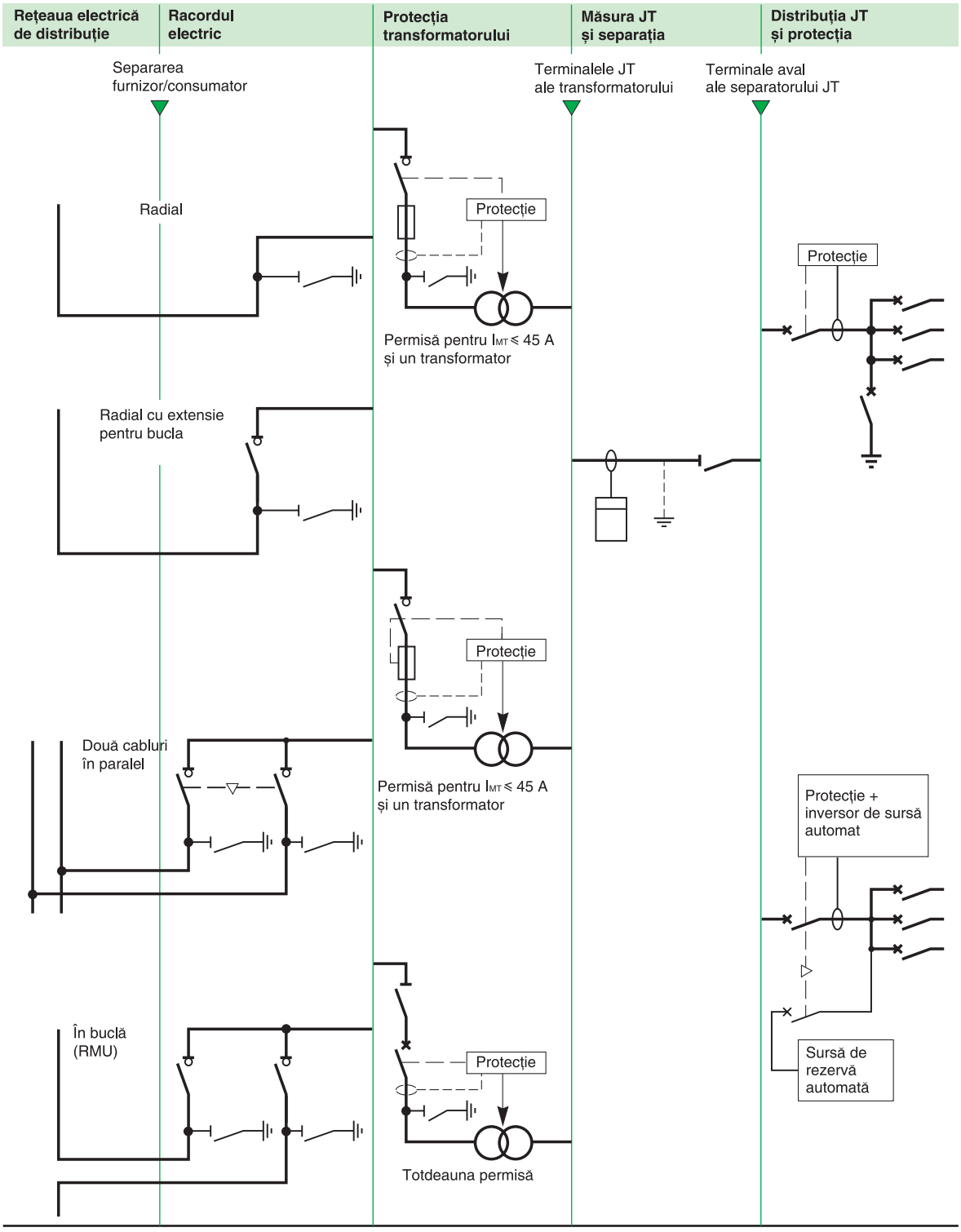



*Fig. B21: Post de transformare de tip abonat cu măsură pe JT.*

# 4 Post de transformare tip abonat cu măsură pe JT



## Siguranța operațională a celulelor metalice de distribuție

**Descriere**

În continuare sunt descrise celulele cu compartimente și pereți metalici (**Fig. B22**). În această figură se prezintă o celulă tip separator de sarcină/separator de linie, proiectată conform ultimelor realizări în domeniu, care asigură:

- siguranța în exploatare;
- cerințe minime de spațiu;
- flexibilitate și posibilități de extindere;
- cerințe minime de mentenanță.

Fiecare celulă conține 3 compartimente:

- aparataj de comutație: separatorul de sarcină este inclus într-o incintă turnată în rășină epoxidică, care conține SF6. Incinta este ermetic închisă și sigilată pe durata de viață a echipamentului;
- conexiuni: prin cablu la bornele separatorului de sarcină;
- sistem de bare: barele sunt în construcție modulară, astfel încât orice număr de celule pot fi asamblate împreună pentru a forma un tablou electric de distribuție unitar.

Celula poate fi prevăzută cu un compartiment în care se pot monta echipamente de măsurare, comandă automată precum și relee. Dacă este necesar, un compartiment adițional poate fi montat deasupra celui existent.

Conexiunile pentru cablu sunt prevăzute într-un compartiment terminal-cablu, situat în partea frontală a celulei. Accesul la acesta se realizează prin demontarea peretelui frontal al compartimentului respectiv.

Diversele unități sunt conectate electric prin secțiuni de bare prefabricate. Montajul se realizează urmând cu strictețe instrucțiunile de asamblare.

Comanda aparatajului de comutație este simplificată prin gruparea tuturor echipamentelor de măsurare, comandă și control, într-o singură incintă, situată pe partea frontală a fiecărei unități.

Tehnologia acestor echipamente de comutație este bazată pe asigurarea siguranței în exploatare, simplitate în montaj și mentenanță redusă.

**Măsuri de siguranță internă a celulelor**

- separatorul de sarcină/separatorul de linie realizează funcția de “separare vizibilă - indicarea poziției”, conform CEI 62271-102 (separatoare și separatoare de punere la pământ);
- unitățile funcționale înglobează interblocajele de bază specificate de CEI 62271-200 (aparataj de comutație în anvelopă metalică):
  - ☐ închiderea separatorului de sarcină este posibilă numai dacă separatorul de punere la pământ este deschis,
  - ☐ închiderea separatorului de punere la pământ este posibilă numai dacă separatorul de sarcină este deschis;
- accesul la compartimentul cablurilor, care este singurul compartiment unde utilizatorul are acces în exploatare, este securizat prin următoarele interblocaje:
  - ☐ deschiderea și accesul la compartimentul terminalelor de cabluri(1) sunt posibile numai dacă separatorul de punere la pământ este închis,
  - ☐ separatorul de sarcină/separatorul de linie se află blocat în poziția “deschis” atunci când se permite accesul menționat anterior. În această situație este posibilă comanda separatorului de punere la pământ, mai exact deschiderea pentru încercarea dielectrică a cablurilor.

Celulele dotate astfel pot fi exploatate cu barele și cablurile sub tensiune, cu excepția celulelor la care s-a realizat accesul la cabluri. Ele sunt conforme cu “pierderea continuității în serviciu” clasă LSB2A, așa cum este definită în CEI62271-200.

În afară de interblocajele funcționale arătate mai sus, fiecare celulă include:

- elemente ce permit blocaje cu lacăt pe dispozitivele de acționare;
- 5 seturi de orificii de fixare pentru eventuale dispozitive de interblocare mecanică, prin cheie.

## Executarea manevrelor

- toate manetele de acționare la închidere sunt identice pentru toate unitățile (cu excepția celor care conțin un întreruptor de putere);
- acționarea manetei de închidere necesită un efort fizic foarte redus;
- deschiderea sau închiderea unui separator de sarcină/separator de linie se poate realiza prin maneta de acționare sau prin apăsarea pe buton pentru cele prevăzute cu motorizare;
- poziția în care se află aparatele de comutație (deschis, închis, resoarte-armate) este indicată în mod clar.

*Fig. B22: Celulă cu separator de sarcină/separator în anvelopă metalică.*

*(1) Acolo unde sunt utilizate fuzibile MT, ele sunt amplasate în acest compartiment.*

## 4.3 Alegerea celulei pentru protecția transformatorului

Există trei tipuri de celule de comutație de MT:
- celule ce conțin un separator de sarcină plus siguranțe fuzibile de MT;
- celule ce conțin un separator de sarcină combinat cu siguranțe fuzibile de MT;
- celule cu întreruptor de putere.

Alegerea optimă este influențată de șapte parametri:
- curentul primar al transformatorului;
- mediul de izolație al transformatorului;
- distanța dintre postul de transformare și centrul de greutate al sarcinii;
- puterea transformatorului (kVA);
- distanța dintre aparatele de comutație și transformator;
- utilizarea unor relee de protecție independente (spre deosebire de bobinele de declanșare directă).

**Notă:** Fuzibilele utilizate în combinația separator de sarcină-siguranțe fuzibile de MT au un percutor care asigură declanșarea separatorului de sarcină tripolar, la arderea unei singure siguranțe.

## 4.4 Alegerea transformatorului MT/JT

### Parametrii caracteristici ai transformatorului

Un transformator este definit, în parte, prin parametrii săi electrici, dar și prin tehnologia utilizată și condițiile de exploatare.

**Caracteristici electrice**

- Puterea nominală ($S_n$): este puterea aparentă în kVA, pe care se bazează o serie de alți parametri de proiectare și de execuție. Încercările și probele de fabricație, precum și garanția acordată se referă la această putere;
- Frecvența: pentru sistemele de distribuție abordate în această lucrare frecvența este de 50 Hz sau 60 Hz;
- Tensiunile nominale primară și secundară: în cazul unei înfășurări primare, capabile să funcționeze la mai multe valori de tensiune, trebuie precizată puterea (kVA) corespunzătoare fiecărei valori. Tensiunea nominală secundară se definește cu înfășurarea respectivă în gol;
- Nivelele nominale de izolație: sunt definite prin încercări dielectrice la supratensiuni temporare, de frecvență industrială, precum și prin unda de impuls care simulează supratensiunile atmosferice (lovitură de trăsnet). În cazul nivelelor de tensiune considerate în această lucrare, supratensiunile de comutație, produse de aparatajul de MT sunt mult mai reduse decât cele atmosferice. Ca urmare nu se execută încercări separate relativ la supratensiunile de comutație;
- Prizele de reglaj de tensiune: acestea permit în general, variația tensiunii în trepte, până la: ±2,5% și ±5% față de tensiunea nominală a înfășurării cu tensiunea cea mai mare. Transformatorul trebuie scos de sub tensiune pe durata acestei operații;
- Conexiunile înfășurărilor: sunt indicate în scheme care utilizează simboluri standardizate pentru conexiuni în stea, triunghi, sau zig-zag. Pentru aplicații speciale se folosesc combinații ale acestora de ex.: transformatoare cu 6 faze sau cu 12 faze, pentru alimentarea redresoarelor, etc.. CEI recomandă folosirea unui cod alfanumeric care citit de la stânga la dreapta indică prin prima literă, înfășurarea cu tensiunea cea mai mare, apoi prin a doua literă înfășurarea cu tensiunea de valoare imediat inferioară, și așa mai departe:

☐ literele majuscule indică înfășurarea cu tensiunea cea mai mare:
D = triunghi
Y = stea
Z = zig-zag
N = punctul de neutru, atunci când este accesibil,
☐ literele mici se utilizează pentru înfășurări terțiare și secundare:
d = triunghi
y = stea
z = zig-zag
n = punctul de neutru, atunci când este accesibil,
☐ un număr de la 0 la 11, urmează după cele două litere și indică dacă există schimbare de fază (defazajul). Aceste numere indică defazajul prin similitudine cu cadranul unui ceas (“0” este folosit în loc de “12”). Dacă există bornă de neutru, acest număr apare după N (sau n).

Pentru transformatoarele de distribuție este foarte uzuală configurația de tip Dyn11. Acestea au o înfășurare de MT cu conexiune în triunghi, înfășurarea secundară în stea cu neutrul accesibil la o bornă specială. Defazajul este de +30° electrice, adică tensiunea secundară pe faza 1 aflându-se la “ora 11”, tensiunea de pe faza 1 din primar este la “ora 12”, conform **Figurii B31** de la pagina B34. Orice combinație de conexiuni în triunghi, stea sau zigzag, produce un defazaj care (dacă nu este zero) este fie 30° fie un multiplu de 30°. CEI 60076-4 descrie această convenție în detaliu.

# 4 Post de transformare tip abonat cu măsură pe JT



**Caracteristici referitoare la tehnologia și utilizarea transformatorului**
Lista ce urmează nu este exhaustivă:
- tehnologia utilizată

Mediul izolant este:
- ☐ lichid (ulei mineral) sau,
- ☐ solid (rășină epoxidică și aer);
- pentru instalații de interior sau exterior;
- altitudine (⩽ 1000 m este situația standard);
- temperatură (CEI 60076-2);
- temperatură maximă a mediului ambiant: 40° C;
- valoare zilnică maximă a temperaturii medii a mediului ambiant: 30° C;
- valoare anuală maximă a temperaturii medii a mediului ambiant: 20° C.

Pentru condiții non-standard de funcționare, a se consulta pagina B7 “influența temperaturii ambiante și a altitudinii asupra curentului nominal”.

## Descrierea tehnicilor de izolare

În prezent, transformatoarele de distribuție, se încadrează în două tipuri de bază:
- uscate (turnate în rășină);
- cu lichid (imersate în ulei).

**Transformatoarele uscate**
Înfășurările acestor transformatoare sunt izolate cu rășină, prin turnare sub vid (procedeu brevetat de majoritatea producătorilor importanți).
Se recomandă ca alegerea transformatorului să fie efectuată conform standardului CEI 60076-11, după cum urmează:
- mediul ambiant clasă E2 (prezența condensului și/sau nivel înalt de poluare);
- condiții climatice clasă C2 (utilizare transport și stocare sub -25° C);
- rezistența la incendiu (transformatoarele expuse riscului de incendiu cu inflamabilitate redusă și autostingere într-un timp dat).

Prezentarea care urmează se referă la tehnologia utilizată de fabricantul european, lider în acest domeniu.
Înglobarea în izolația unei înfășurări implică trei componente:
- rașină epoxy bazată pe bifenol A, cu o vâscozitate care asigură o bună impregnare a înfășurărilor;
- întăritor anhidric modificat, pentru a asigura un grad de elasticitate în masa turnată și astfel să evite formarea de crăpături datorate variațiilor de temperatură din timpul funcționării;
- adeziv sub formă de pulbere, compus din alumină trihidratată Al (OH)3 și silicagel, care îmbunătățesc proprietățile mecanice și termice. În același timp, acesta conferă proprietăți izolante excepționale în condițiile temperaturilor înalte.

Această turnare pe bază de trei componente asigură clasa de izolație F ($\Delta\theta$ = 100° K) și o foarte bună rezistență la foc cu autostingere imediată. De altfel, astfel de transformatoare sunt clasificate ca neinflamabile.
Izolația înfășurărilor nu conține componenți pe bază de halogeni (cloruri, bromuri, etc.) sau alte componente cu efecte toxice sau poluante. Acest tip de izolație asigură o deplină securitate pentru personal în situații de avarie, în special în situația unui incendiu.
Comportarea este de asemenea excepțională în medii industriale cu condiții grele de praf, umiditate, etc. (vezi **Fig. B23**).

**Transformatoare cu lichid**
Cel mai comun lichid izolant și de răcire, utilizat la transformatoarele de putere este uleiul mineral.
Uleiurile minerale sunt specificate în CEI 60296. Deoarece uleiul este inflamabil, în mai multe țări sunt obligatorii măsuri de siguranță, în special pentru posturi de transformare de interior. Transformatoarele cu ulei de tip ermetic (cu umplere totală) sunt protejate cu releul de protecție DGPT (Detecție de Gaz, Presiune și Temperatură). În cazul unei funcționări anormale, înainte ca situația să devină periculoasă, releul DGPT determină întreruperea rapidă a alimentării transformatorului, la MT.
Uleiul mineral este biodegradabil și nu conține PCB (Bifenil-Policlorinat). În trecut s-au folosit compuși acum interziși ca: Pyralene, Pyrolio, Pyroline.
La cerere, uleiul mineral poate fi înlocuit cu un alt lichid izolant prin adaptarea transformatorului și luarea unor măsuri adiționale, dacă este necesar.
Lichidul izolant acționează și ca mediu de răcire; acesta are tendința de expandare atunci când curentul de sarcină sau temperatura ambiantă se măresc. Ca urmare, transformatoarele cu lichid sunt proiectate astfel încât să se controleze volumul variabil de lichid, fără ca presiunea în cuvă să devină excesivă.

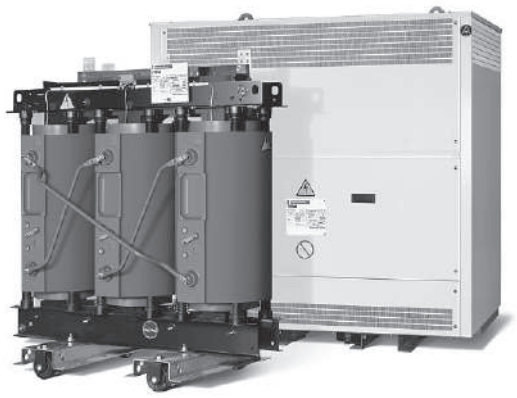


*Fig. B23: Transformator de tip uscat.*

Există două moduri de realizare a limitării de presiune în cuvă:
■ Cuva cu umplere totală, ermetic închisă și sigilată (până la 10 MVA, în momentul de față). Această soluție a fost dezvoltată de un fabricant francez, lider în domeniu, în anul 1963. Metoda a fost adoptată de autoritatea națională (franceză) de energie electrică în 1972, iar acum este folosită în întreaga lume (vezi **Fig. B24**).
Expansiunea lichidului este compensată prin deformarea elastică a unor căi de circulație a uleiului, care sunt cuplate la cuvă.
Tehnica “umplerii totale” are mai multe avantaje în raport cu alte metode:
☐ se evită complet oxidarea lichidului dielectric (contactul cu oxigenul atmosferic),
☐ nu este necesar un dispozitiv de uscare a aerului, deci se elimină mentenanța aferentă (inspecția și schimbarea cartușului saturat de silicagel),
☐ se elimină necesitatea verificării rigidității dielectrice a uleiului, pe o perioadă de cel puțin 10 ani,
☐ protecție simplificată contra defectelor interne, realizabilă cu DGPT,
☐ simplitate în instalare: este mai ușor și cu gabarit mai redus (decât o cuvă cu conservator). Bornele de MT și de JT sunt ușor accesibile,
☐ detecție imediată a pierderilor de ulei (chiar reduse); apa nu poate pătrunde în cuvă.
■ Cuva cu pernă de aer la presiunea atmosferică (cu conservator).
Expansiunea lichidului izolant este compensată prin schimbarea nivelului într-o incintă situată deasupra cuvei, numită “conservator”, conform **Figurii B25**. Spațiul deasupra lichidului din conservator este ocupat de aer, care este aspirat în interior când nivelul scade și este parțial evacuat când nivelul uleiului crește. Când aerul este aspirat din mediul ambiant, acesta este trecut printr-un filtru cu ulei și cu un dispozitiv de uscare (care conține de regulă silicagel). În cazul unor transformatoare de mare putere, spațiul de deasupra uleiului este ocupat de un “air-bag”, evitându-se astfel contactul uleiului cu aerul atmosferic. Aerul din “air-bag” este trecut prin aceleași sisteme de purificare și uscare, ca în cazul precedent. Prezența conservatorului este obligatorie la transformatoarele cu puteri peste 10 MVA (care este limita superioară a transformatoarelor cu “umplere totală”).

*Fig. B24: Transformator de tip ermetic (cu umplere totală).*

*Fig. B25: Transformator cu conservator (tancul de ulei la presiunea atmosferică).*

## Alegerea tehnologiei

Așa cum s-a arătat, alegerea tipului de transformator se face între cel cu lichid și cel uscat. Pentru puteri de până la 10 MVA, transformatoarele cu umplere totală reprezintă o alternativă față de cele cu conservator.
Alegerea depinde de o serie de considerațiuni, după cum urmează:
■ siguranța personalului în apropierea transformatorului. Reglementările locale și recomandările oficiale în acest sens trebuiesc respectate;
■ considerații economice, ținând cont de avantajele relative ale fiecărei soluții.
Reglementări care influențează alegerea:
■ transformatoare uscate:
☐ în anumite țări transformatoarele uscate sunt obligatorii în imobilele înalte de locuințe,
☐ transformatoarele uscate nu impun restricții în funcție de locul de montaj;
■ transformatoare cu izolație în lichid:
☐ acest tip de transformator este în general interzis în imobilele înalte de locuit,
☐ anumite restricții de instalare, sau măsuri minime de protecție anti-incendiu, ce variază în funcție de felul lichidului izolant utilizat și de clasa de izolație asigurată de acesta,
☐ în anumite țări, în care dielectricii lichizi sunt utilizați pe scară largă, se face o clasificare a lichidelor izolante în funcție de comportarea lor la incendiu. Acest lucru se realizează în funcție de două criterii: temperatura de inflamare și capacitatea calorică minimă. Aceste categorii principale sunt prezentate în **Tab. B26**, în care se indică și codul aferent.
Condițiile de instalare pentru transformatoarele cu lichid sunt stabilite în standardele naționale. Până în prezent, încă nu a fost stabilită o recomandare CEI în acest sens. Ca un exemplu standardul francez definește condițiile de instalare a transformatoarelor cu dielectric lichid. Standardele naționale, elaborate pentru a asigura siguranța personalului și a bunurilor, recomandă măsurile minime, necesare contra pericolelor de incendiu.

| Cod | Fluid dielectric | Punct de aprindere (° C) | Putere calorică minimă (MJ/kg) |
|---|---|---|---|
| O1 | Ulei mineral | < 300 | - |
| K1 | Hidrocarbonați cu mare densitate | > 300 | 48 |
| K2 | Esteri | > 300 | 34 - 37 |
| K3 | Silicon | > 300 | 27 - 28 |
| L3 | Lichide izolante cu halogeni | - | 12 |

*Tab. B26: Categorii de fluide dielectrice.*

# 4 Post de transformare tip abonat cu măsură pe JT



Principalele măsuri sunt prezentate în **Tab. B27**.
- pentru dielectrici lichizi de clasa L3 nu sunt necesare măsuri speciale;
- pentru dielectrici din clasele O1 şi K1 măsurile indicate trebuie aplicate numai dacă transformatorul conţine mai mult de 25 de litri de lichid izolant;
- pentru dielectrici din clasele K2 şi K3 măsurile indicate trebuie aplicate numai dacă transformatorul conţine mai mult de 50 de litri de lichid izolant

| Clasa fluidului dielectric | Nr. de litri peste care trebuiesc luate măsuri | Locaţia | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Cameră sau zonă închisă rezervată personalului calificat şi autorizat, şi separată de alte clădiri prin distanţa D | | | Rezervată personalului instruit şi izolată de spaţiile de activităţi prin pereţi antifoc (clasă 2 ore) | | Alte camere sau locaţii[2] |
| | | D > 8 m | 4 m < D < 8 m | D < 4 m[1] în direcţia spaţiilor ocupate | Fără deschideri | Cu deschideri | |
| O1<br>K1 | 25 | Fără măsuri speciale | Interpunerea unui ecran antifoc (clasă 1 oră) | Perete antifoc (clasă 2 ore) către clădirea vecină | Măsurile (1 + 2) sau 3 sau 4 | Măsurile (1 + 2 + 5) sau 3 sau (4 + 5) | Măsurile (1A + 2 + 4)[3] sau 3 |
| K2<br>K3 | 50 | Fără măsuri speciale | | Interpunerea unui ecran (clasă 1 oră) | Fără măsuri speciale | Măsurile 1A sau 3 sau 4 | Măsurile 1 sau 3 sau 4 |
| L3 | | Fără măsuri speciale | | | | | |

***Măsura 1:*** *Realizarea de amenajări prin care în cazul în care dielectricul lichid se scurge din transformator să fie absoarbit complet (într-un bazin prin intermediul unor praguri din jurul transformatorului; din construcţie lichidul nu trebuie să pătrundă în canalele de cabluri, conducte, etc.).*
***Măsura 1A:*** *Este aditională măsurii 1 şi precizează că, în eventualitatea aprinderii lichidului, nu trebuie să existe condiţii de extindere a incendiului (nici un material combustibil nu trebuie plasat la o distanţă mai mică de 4 m de transformator, sau la cel puţin 2 m de acesta) în cazul în care se interpune un ecran ignifug (cu rezistenţa la foc de 1 oră).*
***Măsura 2:*** *Prevede ca lichidul aprins să fie stins rapid şi în mod natural (prin plasarea unui strat de nisip sau pietris în bazinul de scurgere).*
***Măsura 3:*** *Prevede existenţa unui dispozitiv automat (tip DGPT sau Buchholz) care să întrerupă alimentarea în primar şi să dea alarma în cazul în care se produce o dezvoltare de gaze în cuva transformatorului.*
***Măsura 4:*** *Prevede existenţa unor dispozitive de detecţie a focului, plasate în imediata apropiere a transformatorului, care întrerup alimentarea primară şi activează alarma.*
***Măsura 5:*** *Impune închiderea automată, prin panouri ignifuge (cu rezistenţă la foc minim 1/2 oră) care să obtureze toate deschiderile (ventilaţie, etc.) din pereţii sau tavanul postului de transformare.*
***Note:***
***(1)*** *O uşă ignifugă (cu rezistenţa la foc de 2 ore) nu este considerată o deschidere.*
***(2)*** *Camera transformatorului este vecină cu un spaţiu de lucru şi separată de acesta prin pereţi cu rezistenţa la foc mai mică de 2 ore.*
*Arii situate în mijlocul spatiilor de lucru, materialul fiind plasat într-un container protector.*
***(3)*** *Este imperios necesar ca echipamentul să fie plasat într-o cameră ai cărei pereţi sunt fără goluri, singurele deschideri fiind cele de ventilaţie.*

***Tab. B27:*** *Măsuri de securitate recomandate în instalaţiile electrice la utilizarea lichidelor dielectrice de clasă O1, K1, K2, K3.*

## Determinarea puterii optime

### Utilizarea unui transformator supradimensionat

Are drept consecinţe:
- investiţie excesivă şi pierderi inutile la mersul în gol, dar
- pierderi mai reduse la funcţionarea în sarcină.

### Alegerea unui transformator subdimensionat

Determină:
- randament redus la sarcină nominală (cel mai bun randament se obţine la circa 50% -70% din sarcina nominală); deci nu se poate asigura o sarcină optimală;
- în situaţia de suprasarcină prelungită, se produc consecinţe grave asupra:
  - ☐ transformatorului: se observă o îmbătrânire prematură a înfăşurărilor transformatorului, iar în caz extrem străpungerea izolaţiei înfăşurărilor şi distrugerea transformatorului,
  - ☐ instalaţiei: dacă supraîncălzirea transformatorului produce declanşarea releelor de protecţie şi deconectarea întreruptorului de protecţie.

### Definiţia puterii optime

Pentru a alege puterea optimă (kVA) a unui transformator este necesar să se ia în considerare factorii următori:
- lista puterilor instalate în cazul receptorilor, conform capitolului A;
- stabilirea factorului de utilizare (sau de cerere) pentru fiecare sarcină individuală;
- determinarea ciclurilor de funcţionare a instalaţiei, cu specificarea duratelor de funcţionare nominală şi la suprasarcină;
- realizarea corecţiei factorului de putere, în cazuri justificate, cu scopul de a:
  - ☐ reduce costurile excesive, bazate în parte pe cererea maximă de putere (kVA),
  - ☐ reduce valoarea puterii aparente consumate, S (kVA) = P (kW)/cos $\varphi$;
- alegerea parametrilor transformatorului, ţinând seama de eventuale extinderi ale instalaţiei.

De o mare importanţă este asigurarea funcţionarii corecte a transformatorului, în sensul asigurării unor condiţii adecvate de răcire a acestuia.

## Sisteme de ventilaţie

În cazul general al răcirii prin circulaţia naturală a aerului (AN) ventilaţia cabinei extrage căldura (produsă datorită pierderilor în transformator) printr-un proces de convecţie naturală. Un sistem de ventilaţie eficient permite intrarea aerului printr-o deschidere de secţiune S, practicată la nivelul podelei şi ieşirea acestuia printr-un orificiu de secţiune S', aflat la înălţimea H, conform **Fig. B28**.
Este important de reţinut că orice restricţie privind circulaţia liberă a fluxului de aer de răcire, se traduce printr-o reducere a puterii livrată de transformator, în condiţiile de menţinere a temperaturii normale de funcţionare.

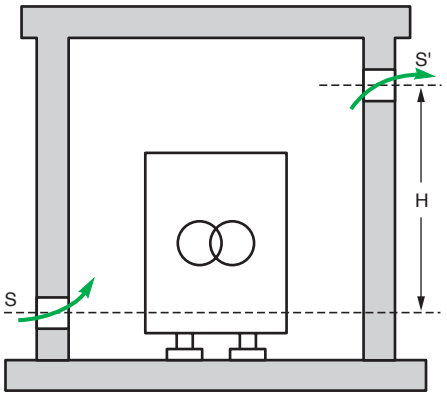



*Fig. B28: Ventilaţie naturală.*

### Ventilaţia naturală

Relaţiile de calcul pentru secţiunile de ventilaţie sunt următoarele:

$$S = \frac{0{,}18\ P}{\sqrt{H}} \quad \text{şi} \quad S' = 1{,}1\ S$$

unde:

P = suma pierderilor în gol şi a pierderilor în plină sarcină, exprimată în kW
S = secţiunea orificiului de intrare a aerului (aria deschiderilor sau fantelor de ventilaţie), exprimată în $mm^2$
S' = secţiunea orificiului de ieşire a aerului (aria deschiderilor sau fantelor de ventilaţie), exprimată in $mm^2$
H = înalţimea (între axele geometrice) măsurată între orificiul de intrare şi cel de ieşire, exprimată în metri.

Relaţiile sunt valabile la o temperatură ambiantă de 20° C şi pentru o altitudine de până la 1000 m.
Trebuie subliniat că aceste formule ne ajută să obţinem un ordin de mărime a secţiunilor S şi S' care sunt considerate ca "secţiuni termice", adică complet deschise şi strict necesare pentru evacuarea energiei termice generate în interiorul postului de transformare MT/JT.
În practică secţiunile sunt mai mari în funcţie de soluţia tehnologică adoptată.
Firește, fluxul de aer este puternic dependent de:

- forma deschiderilor şi soluţiile adoptate pentru asigurarea gradului de protecţie (IP);
- mărimea componentelor interne şi poziţia lor faţă de deschideri;
- diverşi parametrii ai mediului: temperatura exterioară, altitudinea, mărimea creşterilor de temperatură, etc.

Înţelegerea şi optimizarea tuturor acestor fenomene sunt subiectul unor studii precise, bazate pe legile dinamicii fluidelor şi se pot realiza cu programe de calcul.

### Ventilaţia forţată

Ventilaţia forţată (prin ventilator electric) este necesară atunci când temperatura ambiantă depăşeşte 20° C sau când cabina este slab ventilată, există suprasarcini frecvente la transformator, etc..
Ventilatorul poate fi comandat printr-un termostat.
Valorile recomandate ale fluxului de aer de răcire, în $m^3$/sec., la 20° C sunt:

- transformatoare cu umplere totală: 0,081 x P;
- transformatoare uscate, clasă F: 0,05 x P.

unde P = pierderile totale, în kW.

# 5 Post de transformare tip abonat cu măsură pe MT



*Un post de transformare tip consumator (abonat) cu măsura energiei pe partea de MT este o instalație electrică conectată la rețeaua electrică de distribuție publică, având tensiunea nominală cuprinsă între 1 și 35 kV. Acestea cuprind, în general, un singur transformator MT/JT care nu depășește puterea de 1250 kVA sau câteva transformatoare de mai mică putere.*
*În mod normal, curentul nominal al aparatajului de comutație pe partea de MT, nu trebuie să depășească 400 A.*

## 5.1 General

### Funcţii de bază

**Postul de transformare**
În funcție de complexitatea instalației și de numărul consumatorilor, postul de transformare trebuie să îndeplinească anumite condiții:
- poate să includă o cabină care să conţină celule cu aparatele de comutație și de măsură, precum și transformatorul împreună cu tablourile de distribuție de JT;
- poate să alimenteze una sau mai multe cabine în care se află transformatoarele împreună cu tablourile de distribuție la JT. Acestea sunt conectate la MT prin aparate de comutație plasate în postul de transformare principal, similar cu situația descrisă anterior.

Aceste posturi de transformare pot fi instalate în:
- interiorul unor clădiri, sau
- în exterior, în cabine prefabricate.

**Conectarea la rețeaua de MT**
Conectarea la MT poate fi:
- printr-un singur cablu sau linie aeriană, sau
- prin două separatoare de sarcină, interblocate mecanic, cu două cabluri, în cazul dublei alimentări, sau
- prin două separatoare de sarcină din componența unei “bucle” RMU (Ring Main Unit).

**Măsura energiei**
Înainte de începerea proiectării instalației este necesar să se realizeze un acord cu autoritatea furnizoare de energie, relativ la modul de realizare a măsurii energiei pentru decontare.
O celulă de măsură va fi încorporată în tabloul general de MT. Transformatoarele de tensiune și de curent, având precizia necesară, pot fi instalate în celula întreruptorului de intrare sau (este cazul transformatoarelor de tensiune) pot fi instalate separat, într-o celulă de măsură.

**Boxele transformatoarelor**
Dacă în instalație există mai multe boxe ale transformatoarelor, alimentate la MT din postul de transformare principal, se poate realiza prin câte un singur circuit, conectat fie direct la fiecare transformator, fie prin circuit dublu sau prin circuite “în buclă”, în funcție de gradul de siguranță dorit.
În ultimele două cazuri, pentru fiecare boxă de transformator sunt necesare câte trei celule “buclă principală” RMU.

**Generatoare locale de urgenţă**
În cazul întreruperii sistemului de alimentare cu energie electrică, generatoarele locale de urgență au rolul de a asigura alimentarea unor receptori importanți.

**Condensatoare**
Condensatoarele vor fi instalate, în modul următor:
- în postul de transformare principal sub formă de baterii reglabile de condensatoare de MT, sau
- în cabina transformatorului, pe partea de JT.

**Transformatoare**
Din motive de siguranță suplimentară a alimentării, transformatoarele pot funcționa pe două sisteme de bare cu cuplă longitudinală deschisă dotată cu sistem automat de inversare a sursei sau pot funcționa în paralel.

### Scheme monofilare

Schemele din **Figura B29** reprezintă:
- diferitele modalități de conectare la MT, care se încadrează în patru tipuri:
  - ☐ un singur circuit,
  - ☐ un singur circuit (pentru schimbare ulterioară în tipul “buclă principală”),
  - ☐ circuit dublu (interblocat mecanic),
  - ☐ circuit tip “ buclă principală“ RMU;
- protecția generală pe partea de MT și funcțiile de măsură la MT;
- protecția circuitelor de plecare de MT;
- protecția circuitelor de distribuție de JT.

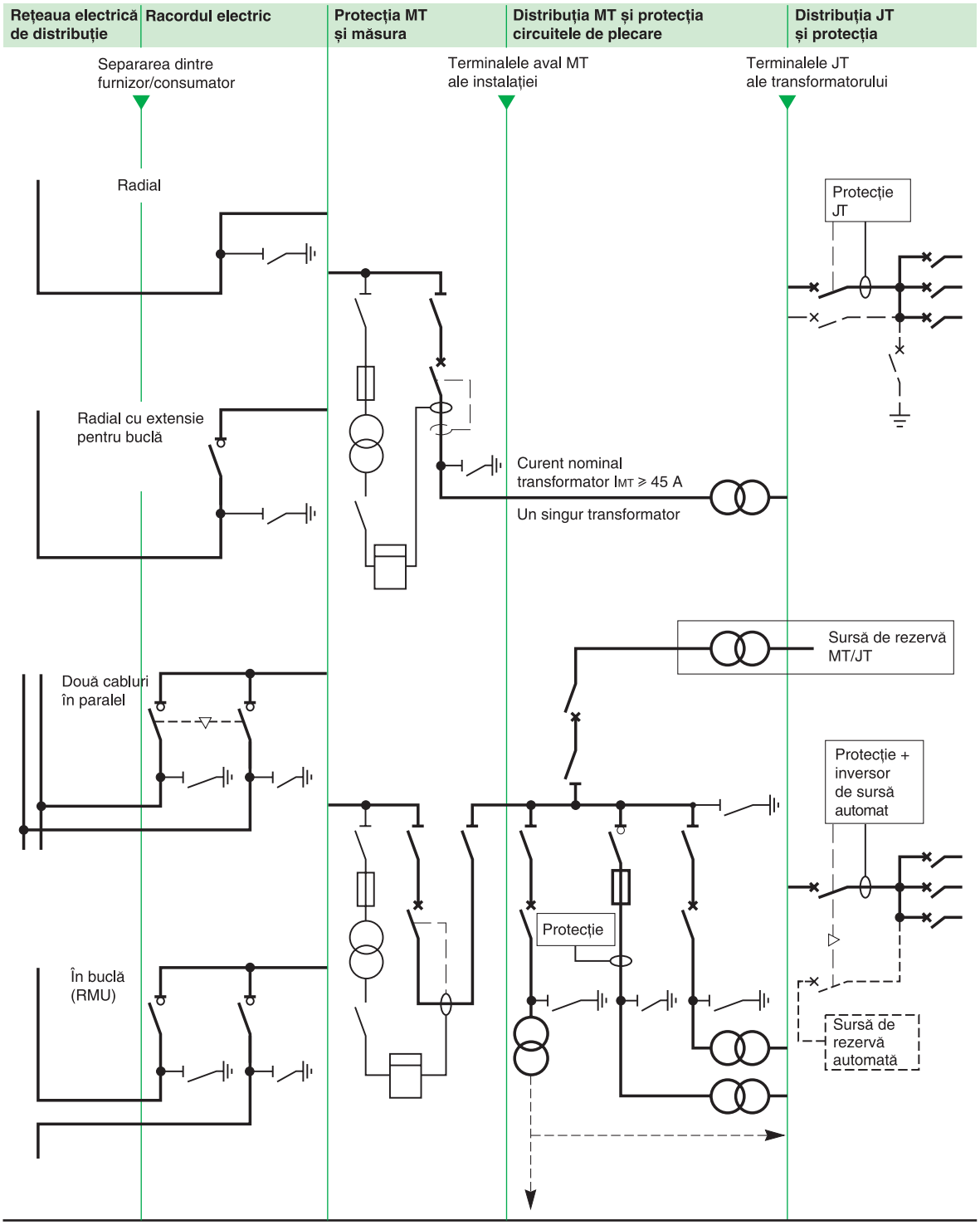



*Fig. B29: Scheme de post trafo tip abonat cu celulă de măsură pe MT.*

## 5.2 Alegerea celulelor

Un post de transformare cu măsurare pe partea de MT va cuprinde, pe lângă celule descrise la 4.2, celule special destinate măsurătorii energiei și, dacă se cere, celule dedicate pentru comutare manuală sau automată de la o sursă la alta.

### Măsură și protecție generală

Aceste două funcții sunt îndeplinite prin asocierea a două celule:
- celula care conține transformatoarele de tensiune;
- celula întreruptorului principal de MT, care conține transformatoarele de curent destinate măsurii energiei și protecției.

Protecția generală se folosește în mod uzual împotriva supracurenților (suprasarcină și scurtcircuit) și a punerii la pământ. Ambele scheme folosesc relee de protecție care sunt sigilate de furnizorul de energie electrică.

### Posturi de transformare conținând generatoare

**Generator operând independent**

Dacă instalația necesită o disponibilitate deosebită a energiei electrice poate fi prevăzut un grup generator operând pe bara de MT. În acest caz instalația trebuie să includă un sistem de comutare automată a alimentării pe sursa de rezervă. Pentru a evita posibilitatea punerii în paralel a generatorului cu rețeaua este nevoie de o celulă dedicată de comutare automată a alimentării (vezi **Fig. B30**).

- Protecția

Dispozitive speciale de protecție sunt montate pentru a proteja generatorul. Trebuie reținut că trebuie acordată o atenție deosebită selectivității protecțiilor distribuției din aval, datorită puterii mici de scurtcircuit a generatorului în comparație cu cea a rețelei de alimentare.

- Comanda

Un regulator de tensiune ce comandă un alternator este în general reglat încât să răspundă la o reducere a tensiunii la terminalele sale printr-o creștere automată a curentului de excitație al alternatorului, până când tensiunea ajunge la normal. Când acest alternator trebuie să opereze în paralel cu altele, dispozitivul AVR (Automatic Voltage Regulation, Regulator Automat de Tensiune) este comutat pe modul “operare în paralel” în care AVR funcționează ușor modificat pentru a asigura împărțirea puterii reactive cu celelalte mașini.

Când un număr de alternatoare funcționează în paralel, având reglaj prin AVR, creșterea curentului de excitație al unuia dintre ele (de exemplu prin comanda manuală, după trecerea AVR pe “comandă manuală”) nu are, practic, nici un efect asupra valorii tensiunii. De fapt, generatorul în cauză va funcționa la un factor de putere mai mic (putere mai mare și deci curent mărit). Factorul de putere al celorlalte mașini va crește automat, astfel încât factorul de putere impus de receptor se va menține la valoarea inițială.

**Generatoare funcționând în paralel cu rețeaua electrică de distribuție publică**

Pentru a conecta un generator la rețeaua electrică de distribuție publică este nevoie de obicei de acordul furnizorului de energie electrică. În general totalitatea echipamentului (celule, relee de protecție, etc.) trebuiesc aprobate de către furnizorul de energie.

În continuare se prezintă câteva considerații de bază de care trebuie să se țină cont în privința protecției și comenzilor.

- Protecția

Pentru a studia conectarea unui grup-generator furnizorul de energie are nevoie de următoarele date:
- ☐ puterea injectată în rețea,
- ☐ modul de conectare,
- ☐ curentul de scurtcircuit al generatorului,
- ☐ dezechilibrul de tensiune al generatorului,
- ☐ și altele.

În funcție de modul de conectare sunt cerute funcții de deconectare:
- ☐ protecție la minimă tensiune și la supratensiune,
- ☐ protecție la minimă frecvență și maximă frecvență,
- ☐ protecție la supratensiune homopolară,
- ☐ timpul maxim de conectare (pentru o cuplare trecătoare),
- ☐ puterea aparentă inversă.

Din motive de securitate celula folosită la deconectare trebuie să aibă caracteristicile unui separator (adică izolare totală a tuturor conductoarelor active între generator și rețeaua electrică).

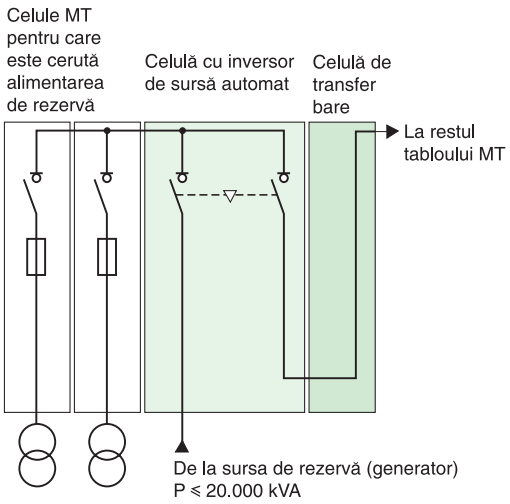

Celule MT pentru care este cerută alimentarea de rezervă
Celulă cu inversor de sursă automat
Celulă de transfer bare
La restul tabloului MT
De la sursa de rezervă (generator)
P ⩽ 20.000 kVA

*Fig. B30: Secție de tablou MT incluzând o celulă a alimentării de rezervă.*

■ Comanda
Să considerăm cazul unui generator de intervenție dintr-un post de transformare, care funcționează în paralel cu rețeaua publică de alimentare, deci cu toate celelalte generatoare ale furnizorului.
Presupunerm că, din motive operaționale (este uzual în rețeaua de MT a se executa reglaje de ±5% din tensiunea nominală sau chiar mai mult atunci când cerințele de exploatare o impun) se produce o scădere a tensiunii din sistem. Un AVR, reglat să mențină tensiunea în marja de ±3% (de exemplu), va acționa imediat în sensul creșterii tensiunii prin mărirea curentului de excitație al alternatorului. În loc de a se produce o creștere de tensiune, alternatorul va funcționa la un factor de putere mai mic, deci își va mări curentul debitat. Situația va continua până la o eventuală declanșare datorată releelor de suprasarcină. Aceasta este o problemă cunoscută care se rezolvă prin plasarea unui circuit de comandă al factorului de putere în componența AVR, care asigură funcția “factor de putere constant”. Prin acesta, AVR va regla curentul de excitație pentru a-l pune în acord cu orice valoare de tensiune din sistem, menținând factorul de putere la o valoare reglată anterior (prin comanda AVR).
În cazul în care alternatorul se decuplează de la rețeaua de energie, releul AVR trebuie să comute automat și rapid pe poziția “tensiune constantă”.

## 5.3 Funcționarea în paralel a transformatoarelor

Necesitatea ca două sau mai multe transformatoare să funcționeze în paralel este des întâlnită și este datorată:
■ mărimii curentului de sarcină, care depășește posibilitățile unui transformator existent;
■ lipsei de spațiu (înălțime) pentru un transformator de mare putere;
■ unei măsuri de siguranță (probabilitatea ca două transformatoare să se defecteze simultan este foarte mică);
■ adoptării unui model standard de transformator pentru întreaga instalație.

### Puterea totală (kVA)

Atunci când două sau mai multe transformatoare, de aceași putere, sunt conectate în paralel, puterea totală este egală cu suma puterilor fiecăruia. Aceasta este valabil dacă impendanțele sunt egale între ele și tensiunile sunt identice. Transformatoarele cu puteri diferite vor debita curenți de sarcină proporțional cu puterile lor (în mod aproximativ), admițând că tensiunile lor sunt identice iar impedanțele procentuale (în raport cu puterea) sunt egale sau aproximativ egale. În aceste cazuri, puterea disponibilă este mai mult de 90% din suma celor două puteri unitare. Se recomandă ca două transformatoare cu puteri nominale aflate în raport de mai mult de 2:1, să nu fie utilizate la funcționare în paralel în regim de durată.

### Condiții de funcționare în paralel

Toate transformatoarele operând în paralel trebuie să fie alimentate de la aceeași rețea.
Curenții de circulație între înfășurările secundare, conectate în paralel vor fi neglijabili, dacă:
■ conductoarele de conectare, de la transformatoare la punctul de conectare în paralel vor avea lungimi aproximativ egale și aceleași caracteristici;
■ producătorul transformatoarelor este consultat asupra regimului de funcționare care se intenționează a se utiliza și deci:
☐ configurațiile înfășurărilor (stea, triunghi, zig-zag) diferitelor transformatoare au același defazaj între tensiunile primare și secundare,
☐ impedanțele (tensiunile) procentuale de scurtcircuit sunt egale sau diferă prin mai puțin de 10%,
☐ diferențele de tensiuni între fazele corespunzătoare nu trebuie să depășească 0,4%,
☐ producătorul trebuie să primească toate datele relativ la regimurile de funcționare utilizate, în scopul de a optimiza pierderile în sarcină și la mersul în gol.

# 5 Post de transformare tip abonat cu măsură pe MT



## Conexiuni uzuale ale înfășurărilor

Așa cum s-a prezentat în subcapitolul 4.4 “Caracteristici electrice” relațiile între înfășurările primare, secundare și terțiare depind de:

- tipul înfășurărilor (triunghi, stea, zig-zag);
- conexiunea dintre înfășurările de pe o fază;

De exemplu, tensiunile produse depind de care dintre terminalele înfășurărilor formează centrul conexiunii în stea. Tensiunile vor fi defazate cu 180° dacă se inversează terminalele înfășurărilor care formează centrul stelei. Același defazaj de 180° se produce în cazul celor două posibilități de a conecta înfășurările pe fază la conexiunea triunghi, în timp ce în cazul conexiunii zig-zag sunt patru combinații posibile;

- defazajul tensiunilor secundare pe fază, în raport cu tensiunile primare corespunzătoare.

Așa cu s-a arătat, acest defazaj (dacă nu este nul) va fi întotdeauna un multiplu de 30° și va depinde de doi factori și anume, tipul înfășurării și conexiunea (polaritatea) înfășurărilor de pe o fază.

În cazul transformatoarelor de distribuție, configurația cea mai uzuală este tipul Dyn11 (vezi **Fig. B31**).

În România configurația cea mai uzuală este Dyn5, fiind în general acceptată și Dyn11.

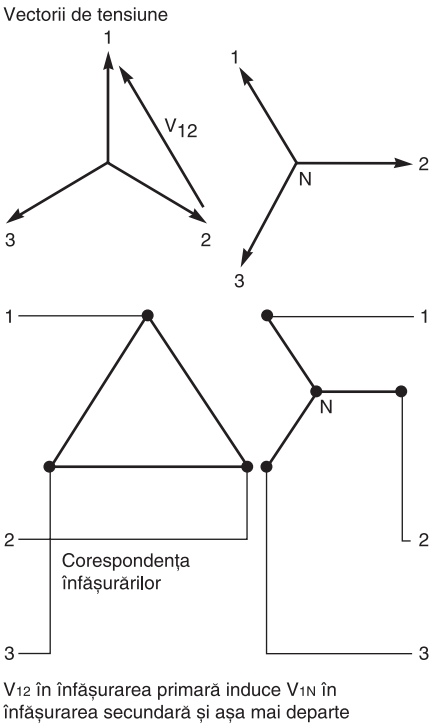



*Fig. B31: Rotația fazelor pentru un transformator Dyn11.*

# 6 Componența diferitelor tipuri de posturi de transformare

Posturile de transformare de distribuție MT/JT se construiesc în funcție de mărimea consumatorilor și de felul rețelei de alimentare cu energie electrică.
Posturile de transformare pot fi construite în locuri publice cum sunt parcurile, cartiere de locuit, etc. sau în construcții cu caracter privat, caz în care autoritatea furnizoare trebuie să aibă un acces nelimitat. În mod normal, aceasta se asigură prin aceea că unul din pereții postului de transformare, care include o ușă de intrare coincide cu limita construcției respective și are acces direct la un drum public.

## 6.1 Diferite tipuri de posturi de transformare

Posturile de transformare pot fi clasificate în funcție de modul de efectuare a măsurii (la MT sau JT) sau după modul de alimentare (prin linie aeriană sau subterană).
Posturile de transformare pot fi instalate:
- ■ în interior în camere (cabine) special construite în acest scop sau încorporate în structura clădirii, sau
- ■ în exterior unde pot fi:
  - ☐ într-o construcție din cărămidă, beton sau prefabricată, cu echipament de interior (celule și transformator),
  - ☐ cu montare la sol cu echipament de exterior (celule și transformator),
  - ☐ cu montare pe stâlpi cu echipament de exterior dedicat (celule și transformator).

Posturile de transformare prefabricate sunt o alegere particulară, simplă și economică.

## 6.2 Posturi de transformare de interior

### Concepție

**Figura B32** arată echipamentele tipice pentru un post de transformare cu măsura energiei electrice pe partea de joasă tensiune.
**Remarcă:** Folosirea unui transformator uscat cu izolație în rășină, elimină necesitatea unei bașe de colectare a uleiului. Oricum, curățenia periodică este necesară.

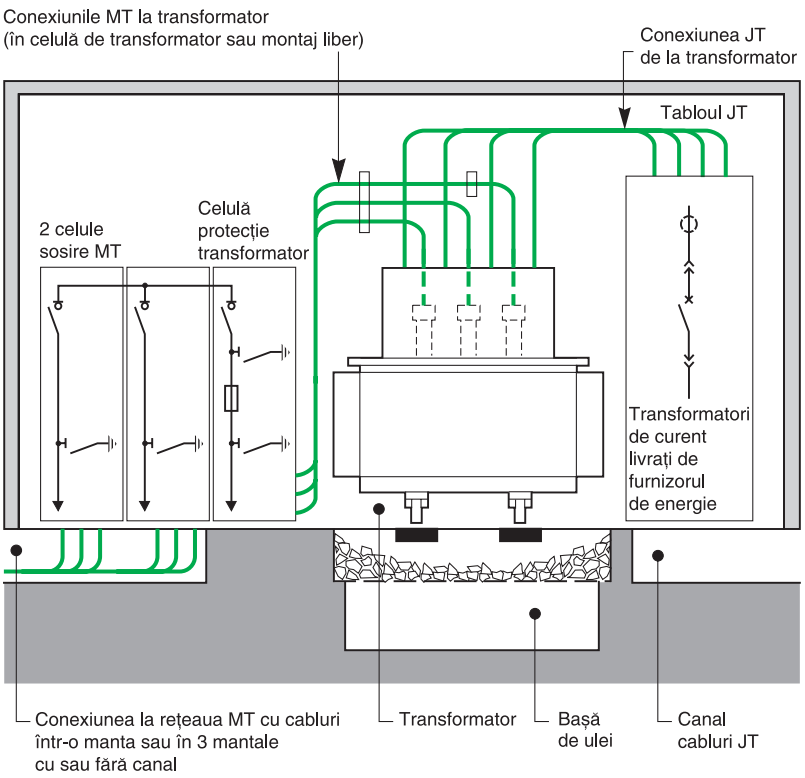



*Fig. B32: Planul unui post de transformare cu măsură pe JT.*

# 6 Componența diferitelor tipuri de posturi de transformare



## Conexiuni și alegerea echipamentului

**Pe partea de medie tensiune:**

■ conexiunile la rețeaua de MT se execută și sunt în responsabilitatea furnizorului de energie electrică;

■ conexiunile între aparatajul de comutație de MT și transformator se pot realiza:

☐ prin bare de cupru, de lungime redusă, atunci când transformatorul este plasat într-o celulă făcând parte din tabloul de distribuție de MT,

☐ prin cabluri monofazate, ecranate, având izolație sintetică, cu posibilitatea conectării la bornele tip broșă ale transformatorului.

**Pe partea de joasă tensiune:**

■ conexiunile între bornele de JT ale transformatorului și tabloul de distribuție de JT se pot realiza:

☐ prin cabluri monofazate,

☐ prin bare de cupru (de secțiune circulară sau dreptunghiulară) cu izolație termocontractabilă.

**Echipament de măsură (**vezi **Fig. B33 )**

■ transformatoarele de măsură de curent sunt în general instalate în interiorul carcasei de protecție a bornelor de JT ale transformatorului de putere. Această carcasă este sigilată de furnizorul de energie electrică;

■ altă variantă constă în plasarea transformatoarelor de curent într-un compartiment sigilat din cadrul panoului de intrare al distribuției la JT;

■ echipamentele de măsură trebuie instalate într-un panou (dulap) care este complet ferit de vibrații;

■ echipamentele de măsură trebuie plasate, pe cât posibil, foarte aproape de transformatoarele de măsură, și sunt accesibile numai furnizorului de energie electrică.

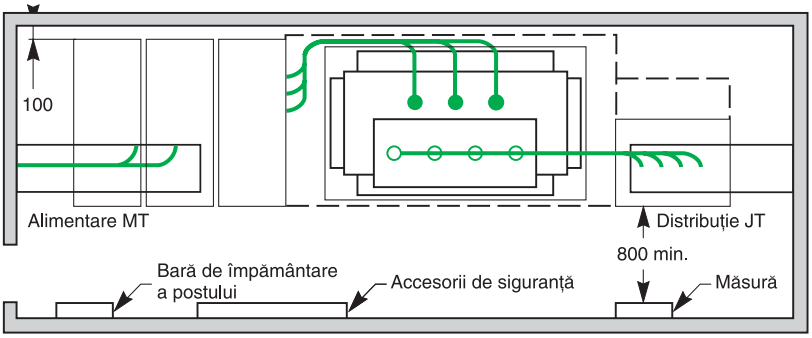



*Fig. B33: Planul unui post de transformare cu măsură pe JT.*

## Circuite de împământare

Postul de transformare trebuie să fie prevăzut cu:

■ priză de pământ pentru toate părțile conductoare expuse ale echipamentului electric și pentru părțile metalice accesibile, cum ar fi:

☐ ecranele metalice de protecție,

☐ barele metalice din betonul armat al fundației din postul de transformare.

## Iluminatul în postul de transformare

Alimentarea circuitelor de iluminat se poate face fie din amonte, fie din aval de întreruptorul principal de JT. În ambele cazuri trebuie prevăzută o protecție adecvată la supracurenți. Un circuit separat cu funcționare automată este recomandat pentru iluminatul de avarie.

Întreruptoarele, butoanele, etc. care comandă circuitul de iluminat trebuie amplasate în apropierea intrărilor în post.

Circuitele de iluminat trebuie să asigure că:

■ manetele de comandă ale aparatajului de comutație precum și indicatoarele de poziție să fie bine iluminate;

■ toate cadranele și plăcile indicatoare sau de instrucțiuni (s.a.m.d.) să poată fi citite cu ușurință.

## Materiale pentru exploatare și securitate

În conformitate cu regulile de securitate locale, postul de transformare trebuie să fie dotat cu:
- materiale care să asigure exploatarea sigură a echipamentului, constituite din:
  - o platformă izolantă sau/și un covor izolant (din cauciuc sau sintetic),
  - o pereche de mănuși izolante, păstrate într-un loc adecvat,
  - un dispozitiv de detectare a prezenței tensiunii, utilizabil în cadrul echipamentului de MT,
  - legături de punere la pământ (scurtcircuitoare), în acord cu tipul de aparataj de comutație;
- extinctoare cu pulbere sau $CO_2$;
- simboluri de avertizare, inscripții și alarme de siguranță, plasate astfel:
  - pe fața exterioară a ușilor de acces, o placă de avertizare PERICOL și o inscripție de interzicere a intrării, împreună cu instrucțiuni de prim ajutor în caz de accident prin electrocutare.

*Fig. B34: Post de transformare de exterior cu cabină - cu operare din interior*

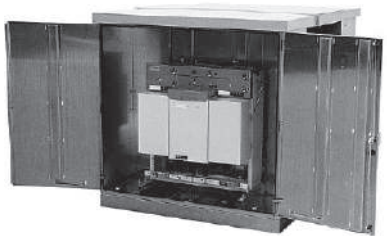


*Fig. B35. Post de transformare de exterior cu cabină - cu operare din exterior.*

*Fig. B36: Post de transformare de exterior fără cabină.*

## 6.3 Posturi de transformare de exterior

### Posturi de transformare de exterior cu cabină

**Cu operare din interior (**vezi **Fig. B34)**
În cazul posturilor de transformare complexe, care folosesc circuite de tip "inel principal" RMU sau conțin mai multe întreruptoare de putere, se utilizează în mod curent cabine protejate contra intemperiilor și a altor pericole.
Printre avantajele acestor cabine, enumerăm:
- optimizarea economică și din punct de vedere al siguranței în exploatare prin:
  - alegerea potrivită a tipului de cabină, în cadrul unei game largi disponibile,
  - conformitatea cu standardele internaționale existente precum și cu cele din perspectivă;
- reducerea timpului de studiu și de proiectare, precum și a costurilor de instalare, prin:
  - coordonarea minimă între activitățile de construcție și amenajările locale care sunt necesare,
  - realizarea independentă față de construcția principală aflată în lucru,
  - simplificarea lucrărilor de construcție, prin realizarea unei fundații sub forma unui soclu de beton;
- simplitate în instalarea echipamentului și realizarea conexiunilor.

**Cu operare din exterior** (vezi **Fig. B35**)
Acest tip este similar cu cel cu operare din interior. În general nu poate fi folosit ca post de distribuție publică.

### Post de transformare de exterior fără cabină (vezi **Fig. B36**)

Aceste tipuri de posturi de transformare de exterior sunt utilizate în mod curent în unele țări și se bazează pe utilizarea unui echipament rezistent la intemperii, care este plasat în exterior.
Acestea cuprind o zonă îngrădită în care sunt instalate trei sau mai multe socluri de beton:
- pentru echipamentul "inel principal" RMU sau pentru unul sau mai multe separatoare de sarcină cu siguranțe, eventual întreruptoare de putere;
- pentru unul sau mai multe transformatoare, și
- pentru unul sau mai multe tablouri de distribuție de JT.

### Posturi de transformare amplasate pe stâlpi

**Domeniul de aplicație**
Acest tip de post de transformare este destinat în principal la alimentarea consumatorilor rurali izolați, prin conectare la o linie aeriană de MT.

**Componență**
În aceste tipuri de posturi de transformare protecția transformatorului este asigurată cel mai adesea cu fuzibile.
Sunt prevăzuți descărcători pentru protejarea transformatorului și consumatorilor așa cum este arătat în **Fig. B37** de pe pagina următoare.

**Reguli generale**
Așa cum s-a arătat și mai înainte amplasarea postului de transformare trebuie să permită accesul utilajelor grele pentru manevrarea echipamentului, și accesul personalului de exploatare.

# 6 Componența diferitelor tipuri de posturi de transformare



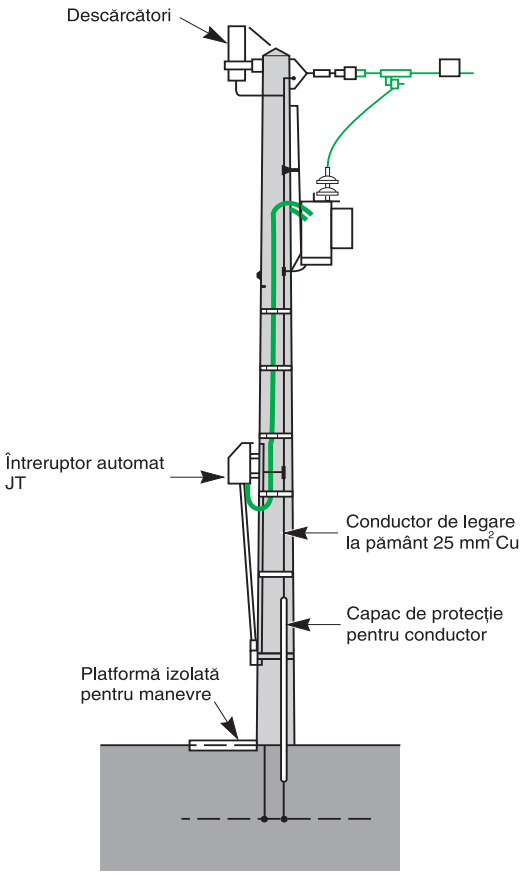



*Fig. B37: Post de transformare montat pe stâlp.*

# Capitolul C
# Conectarea la rețeaua de distribuție de joasă tensiune

## Cuprins


**1 Rețelele de distribuție de joasă tensiune ale furnizorilor de energie** C2

1.1 Consumatori la joasă tensiune C2

1.2 Rețelele de distribuție de joasă tensiune C10

1.3 Conectarea consumatorului la rețea C11

1.4 Calitatea tensiunii de alimentare C15

**2 Măsura energiei și tarifele** C16

# 1 Rețelele de distribuție de joasă tensiune ale furnizorilor de energie



*Alimentările de JT cele mai comune sunt între 120 V monofazat și 240/415 V trifazat cu patru conductoare.*
*Sarcinile de până la 250 kVA pot fi alimentate la JT, dar furnizorii de energie electrică propun în general alimentarea la MT la nivele de sarcină peste care rețelele lor de JT sunt utilizate la maxim.*
*Tensiunea internațională standardizată pentru sisteme trifazate de JT cu patru conductoare recomandată de CEI 60038 este de 230/400 V.*

## 1.1 Consumatorii la joasă tensiune

În Europa perioada de tranziție pentru trecerea la tensiunea de 230 V/400 V, ±10% a fost extinsă pentru alți 5 ani, adică până în anul 2008.
Consumatorii de joasă tensiune sunt prin definiție acei consumatori a căror receptoare electrice pot fi alimentate satisfăcător de la rețeaua electrică de distribuție publică de joasă tensiune din localitate.
Tensiunea rețelei locale de joasă tensiune poate fi de 120/208 V sau 240/415 V, adică extremele inferioară sau superioară ale nivelelor monofazate/trifazate sau niveluri intermediare precum în **Tab. C1**.
Tensiunea internațională standardizată pentru sisteme trifazate de joasă tensiune cu patru conductoare recomandată de CEI 60038 este de 230/400 V.
Sarcinile de până la 250 kVA pot fi alimentate la joasă tensiune, dar furnizorii de energie electrică propun în general alimentarea la medie tensiune la nivele de sarcină pentru care rețelele lor de joasă tensiune sunt la limita utilizării.

| Țara | Frecvența și toleranța (Hz & %) | Domestic (V) | Comercial (V) | Industrial (V) |
|---|---|---|---|---|
| Afganistan | 50<br>220 (k) | 380/220 (a) | 380/220 (a) | 380/220 (a) |
| Africa de Sud | 50 ± 2,5 | 433/250 (a)<br>400/230 (a)<br>380/220 (a)<br>220 (k) | 11.000<br>6.600<br>3.300<br>433/250 (a)<br>400/230 (a)<br>380/220 (a) | 11.000<br>6.600<br>3.300<br>500 (b)<br>380/220 (a) |
| Algeria | 50 ± 1,5 | 220/127 (e)<br>220 (k) | 380/220 (a)<br>220/127 (a) | 10.000<br>5.500<br>6.600<br>380/220 (a) |
| Angola | 50 | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a) | 380/220 (a) |
| Arabia Saudită | 60 | 220/127 (a) | 220/127 (a)<br>380/220 (a) | 11.000<br>7.200<br>380/220 (a) |
| Antigua și Barbuda | 60 | 240 (k)<br>120 (k) | 400/230 (a)<br>120/208 (a) | 400/230 (a)<br>120/208 (a) |
| Argentina | 50 ± 2 | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | |
| Armenia | 50 ± 5 | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a) |
| Australia | 50 ± 0,1 | 415/240 (a)<br>240 (k) | 415/240 (a)<br>440/250 (a)<br>440 (m) | 22.000<br>11.000<br>6.600<br>415/240<br>440/250 |
| Austria | 50 ± 0,1 | 230 (k) | 380/230 (a) (b)<br>230 (k) | 5.000<br>380/220 (a) |
| Azerbaijan | 50 ± 0,1 | 208/120 (a)<br>240/120 (k) | 208/120 (a)<br>240/120 (k) | |
| Bahrain | 50 ± 0,1 | 415/240 (a)<br>240 (k) | 415/240 (a)<br>240 (k) | 11.000<br>415/240 (a)<br>240 (k) |
| Bangladesh | 50 ± 2 | 410/220 (a)<br>220 (k) | 410/220 (a) | 11.000<br>410/220 (a) |
| Barbados | 50 ± 6 | 230/115 (j)<br>115 (k) | 230/115 (j)<br>200/115 (a)<br>220/115 (a) | 230/400 (g)<br>230/155 (j) |
| Belarus | 50 | 380/220 (a)<br>220 (k)<br>220/127 (a)<br>127 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a) |
| Belgia | 50 ± 5 | 230 (k)<br>230 (a)<br>3N, 400 | 230 (k)<br>230 (a)<br>3N, 400 | 6.600<br>10.000<br>11.000<br>15.000 |
| Bolivia | 50 ± 0,5 | 230 (k) | 400/230 (a)<br>230 (k) | 400/230 (a) |
| Botswana | 50 ± 3 | 220 (k) | 380/220 (a) | 380/220 (a) |

***Tab. C1:*** *Tensiunea rețelelor locale de joasă tensiune și diagramele circuitelor asociate (se continuă pe pagina următoare).*

| Țara | Frecvența și toleranța (Hz & %) | Domestic (V) | Comercial (V) | Industrial (V) |
|---|---|---|---|---|
| Brazilia | 60 | 220 (k)<br>127 (k) | 220/380 (a)<br>127/220 (a) | 13.800<br>11.200<br>220/380 (a)<br>127/220 (a) |
| Brunei | 50 ± 2 | 230 | 230 | 11.000<br>68.000 |
| Bulgaria | 50 ± 0,1 | 220 | 220/240 | 1.000<br>690<br>380 |
| Cambogia | 50 ± 1 | 220 (k) | 220/300 | 220/380 |
| Camerun | 50 ± 1 | 220/260 (k) | 220/260 (k) | 220/380 (a) |
| Canada | 60 ± 0,02 | 120/240 (j) | 347/600 (a)<br>480 (f)<br>240 (f)<br>120/240 (j)<br>120/208 (a) | 7.200/12.500<br>347/600 (a)<br>120/208<br>600 (f)<br>480 (f)<br>240 (f) |
| Cehia | 50 ± 1 | 230 | 500<br>230/400 | 400.000<br>220.000<br>110.000<br>35.000<br>22.000<br>10.000<br>6.000<br>3.000 |
| Chile | 50 ± 1 | 220 (k) | 380/220 (a) | 380/220 (a) |
| China | 50 ± 0,5 | 220 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) |
| Ciad | 50 ± 1 | 220 (k) | 220 (k) | 380/220 (a) |
| Cipru | 50 ± 0,1 | 240 (k) | 415/240 | 11.000<br>415/240 |
| Columbia | 60 ± 1 | 120/240 (g)<br>120 (k) | 120/240 (g)<br>120 (k) | 13.200<br>120/240 (g) |
| Congo | 50 | 220 (k) | 240/120 (j)<br>120 (k) | 380/220 (a) |
| Corea | 60 | 100 (k) | 100/200 (j) | |
| Corea de Nord | 60 (+0, -5) | 220 (k) | 220/380 (a) | 13.600<br>6.800 |
| Croația | 50 | 400/230 (a)<br>230 (k) | 400/230 (a)<br>230 (k) | 400/230 (a) |
| Danemarca | 50 ± 1 | 400/230 (a) | 400/230 (a) | 400/230 (a) |
| Djibouti | 50 | | 400/230 (a) | 400/230 (a) |
| Egipt | 50 ± 0,5 | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 66.000<br>33.000<br>20.000<br>11.000<br>6.600<br>380/220 (a) |
| Elveția | 50 ± 2 | 400/230 (a) | 400/230 (a) | 20.000<br>10.000<br>3.000<br>1.000<br>690/500 |
| Emiratele Arabe | 50 ± 1 | 220 (k) | 415/240 (a)<br>380/220 (a)<br>220 (k) | 6.600<br>415/210 (a)<br>380/220 (a) |
| Estonia | 50 ± 1 | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a) |
| Etiopia | 50 ± 2,5 | 220 (k) | 380/231 (a) | 15 000<br>380/231 (a) |
| Falkland (Insulele) | 50 ± 3 | 230 (k) | 415/230 (a) | 415/230 (a) |
| Fidji (Insulele) | 50 ± 2 | 415/240 (a)<br>240 (k) | 415/240 (a)<br>240 (k) | 11.000<br>415/240 (a) |
| Filipine | 60 ± 0,16 | 110/220 (j) | 13.800<br>4.160<br>2.400<br>110/220 (h) | 13.800<br>4.160<br>2.400<br>440 (b)<br>110/220 (h) |
| Finlanda | 50 ± 0,1 | 230 (k) | 400/230 (a) | 690/400 (a)<br>400/230 (a) |

*Tab. C1: Tensiunea rețelelor locale de joasă tensiune și diagramele circuitelor asociate (se continuă pe pagina următoare).*

| Țara | Frecvența și toleranța (Hz & %) | Domestic (V) | Comercial (V) | Industrial (V) |
|---|---|---|---|---|
| Franța | 50 ±1 | 400/230 (a)<br>230 (a) | 400/230<br>690/400<br>590/100 | 20.000<br>10.000<br>230/400 |
| Gambia | 50 | 220 (k) | 220/380 | 380 |
| Georgia | 50 ±0,5 | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a) |
| Germania | 50 ±0,3 | 400/230 (a)<br>230 (k) | 400/230 (a)<br>230 (k) | 20.000<br>10.000<br>6.000<br>690/400<br>400/230 |
| Ghana | 50 ±5 | 220/240 | 220/240 | 415/240 (a) |
| Gibraltar | 50 ±1 | 415/240 (a) | 415/240 (a) | 415/240 (a) |
| Grecia | 50 | 220 (k)<br>230 | 6.000<br>380/220 (a) | 22.000<br>20.000<br>15.000<br>6.600 |
| Grenada | 50 | 230 (k) | 400/230 (a) | 400/230 (a) |
| Hong Kong | 50 ±2 | 220 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 11.000<br>386/220 (a) |
| India | 50 ± 1,5 | 440/250 (a)<br>230 (k) | 440/250 (a)<br>230 (k) | 11.000<br>400/230 (a)<br>440/250 (a) |
| Islanda | 50 ±0,1 | 230 | 230/400 | 230/400 |
| Insulele Capului Verde | | 220 | 220 | 380/400 |
| Insulele Solomon | 50 ± 2 | 240 | 415/240 | 415/240 |
| Indonezia | 50 ± 2 | 220 (k) | 380/220 (a) | 150.000<br>20.000<br>380/220 (a) |
| Iordania | 50 | 380/220 (a)<br>400/230 (k) | 380/220 (a) | 400 (a) |
| Iran | 50 ± 5 | 220 (k) | 380/220 (a) | 20.000<br>11.000<br>400/231 (a)<br>380/220 (a) |
| Irak | 50 | 220 (k) | 380/220 (a) | 11.000<br>6.600<br>3.000<br>380/220 (a) |
| Irlanda | 50 ± 2 | 230 (k) | 400/230 (a) | 20.000<br>10.000<br>400/230 (a) |
| Israel | 50 ± 0,2 | 400/230 (a)<br>230 (k) | 400/230 (a)<br>230 (k) | 22.000<br>12.600<br>6.300<br>400/230 (a) |
| Italia | 50 ± 0,4 | 400/230 (a)<br>230 (k) | 400/230 (a) | 20.000<br>15.000<br>10.000<br>400/230 (a) |
| Jamaica | 50 ± 1 | 220/110 (g) (j) | 220/110 (g) (j) | 4.000<br>2.300<br>220/110 (g) |
| Japonia | + 0,1<br>- 0,3 | 200/100 (h) | 200/100 (h)<br>(până la 50 kW) | 140.000<br>60.000<br>20.000<br>6.000<br>200/100 (h) |
| Kazahstan | 50 | 380/220 (a)<br>220 (k)<br>220/127 (a)<br>127 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a) |
| Kenya | 50 | 240 (k) | 415/240 (a) | 415/240 (a) |
| Kirgizstan | 50 | 380/220 (a)<br>220 (k)<br>220/127 (a)<br>127 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a) |
| Kuweit | 50 ± 3 | 240 (k) | 415/240 (a) | 415/240 (a) |
| Laos | 50 ± 8 | 380/220 (a) | 380/220 (a) | 380/220 (a) |

***Tab. C1:*** *Tensiunea rețelelor locale de joasă tensiune și diagramele circuitelor asociate (se continuă pe pagina următoare).*

| Țara | Frecvența și toleranța (Hz & %) | Domestic (V) | Comercial (V) | Industrial (V) |
|---|---|---|---|---|
| Lesotho | | 220 (k) | 380/220 (a) | 380/220 (a) |
| Letonia | 50 ± 0,4 | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a) |
| Liban | 50 | 220 (k) | 380/220 (a) | 380/220 (a) |
| Libia | 50 | 230 (k)<br>127 (k) | 400/230 (a)<br>220/127 (a)<br>230 (k)<br>127 (k) | 400/230 (a)<br>220/127 (a) |
| Lituania | 50 ± 0,5 | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a) |
| Luxemburg | 50 ± 0,5 | 380/220 (a) | 380/220 (a) | 20.000<br>15.000<br>5.000 |
| Macedonia | 50 | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 10.000<br>6.600<br>380/220 (a) |
| Madagascar | 50 | 220/110 (k) | 380/220 (a) | 35.000<br>5.000<br>380/220 |
| Malaezia | 50 ± 1 | 240 (k)<br>415 (a) | 415/240 (a) | 415/240 (a) |
| Malawi | 50 ± 2,5 | 230 (k) | 400 (a)<br>230 (k) | 400 (a) |
| Mali | 50 | 220 (k)<br>127 (k) | 380/220 (a)<br>220/127 (a)<br>220 (k)<br>127 (k) | 380/220 (a)<br>220/127 (a) |
| Malta | 50 ± 2 | 240 (k) | 415/240 (a) | 415/240 (a) |
| Marea Britanie (fără Irlanda de Nord) | 50 ± 1 | 230 (k) | 400/230 (a) | 22.000<br>11.000<br>6.600<br>3.300<br>400/230 (a) |
| Marea Britanie (cu Irlanda de Nord) | 50 ± 0,4 | 230 (k)<br>220 (k) | 400/230 (a)<br>380/220 (a) | 400/230 (a)<br>380/220 (a) |
| Maroc | 50 ± 5 | 380/220 (a) | 380/220 (a) | 225.000 |
| Martinica | 50 | 127 (k) | 220/127 (a)<br>127 (k) | 220/127 (a) |
| Mauritania | 50 ± 1 | 230 (k) | 400/230 (a) | 400/230 (a) |
| Mexic | 60 ± 0,2 | 127/220 (a)<br>220 (k)<br>120 (l) | 127/220 (a)<br>220 (k)<br>120 (l) | 13.800<br>13.200<br>277/480 (a)<br>127/220 (b) |
| Moldova | 50 | 380/220 (a)<br>220 (k)<br>220/127 (a)<br>127 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a) |
| Mozambic | 50 | 380/220 (a) | 380/220 (a) | 6.000<br>10.000 |
| Nepal | 50 ± 1 | 220 (k) | 440/220 (a)<br>220 (k) | 11.000<br>440/220 (a) |
| Noua Zeelandă | 50 ± 1,5 | 400/230 (e) (a)<br>230 (k)<br>460/230 (e) | 400/230 (e) (a)<br>230 (k) | 11.000<br>400/230 (a) |
| Niger | 50 ± 1 | 230 (k) | 380/220 (a) | 15.000<br>380/220 (a) |
| Nigeria | 50 ± 1 | 230 (k)<br>220 (k) | 400/230 (a)<br>380/220 (a) | 15.000<br>11.000<br>400/230 (a)<br>380/220 (a) |
| Norvegia | 50 ± 2 | 230/400 | 230/400 | 230/400<br>690 |
| Olanda | 50 ± 0,4 | 230/400 (a)<br>230 (k) | 230/400 (a) | 25.000<br>20.000<br>12.000<br>10.000<br>230/400 |

*Tab. C1: Tensiunea rețelelor locale de joasă tensiune și diagramele circuitelor asociate (se continuă pe pagina următoare).*

| Țara | Frecvența și toleranța (Hz & %) | Domestic (V) | Comercial (V) | Industrial (V) |
|---|---|---|---|---|
| Oman | 50 | 240 (k) | 415/240 (a)<br>240 (k) | 415/240 (a) |
| Pakistan | 50 | 230 (k) | 400/230 (a)<br>230 (k) | 400/230 (a) |
| Papua Noua Guinee | 50 ± 2 | 240 (k) | 415/240 (a)<br>240 (k) | 22.000<br>11.000<br>415/240 (a) |
| Paraguay | 50 ± 0,5 | 220 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 22.000<br>380/220 (a) |
| Polonia | 50 ± 0,1 | 230 (k) | 400/230 (a) | 1.000<br>690/400<br>400/230 (a) |
| Portugalia | 50 ± 1 | 380/220 (a)<br>220 (k) | 15.000<br>5.000<br>380/220 (a)<br>220 (k) | 15.000<br>5.000<br>380/220 (a) |
| Qatar | 50 ± 0.1 | 415/240 (k) | 415/240 (a) | 11,000<br>415/240 (a) |
| Republica Dominicană | 50 | 230 (k) | 400/230 (a) | 400/230 (a) |
| România | 50 ± 0,5 | 220 (k)<br>220/380 (a) | 220/380 (a) | 20.000<br>10.000<br>6.000<br>220/380 (a) |
| Ruanda | 50 ± 1 | 220 (k) | 380/220 (a) | 15.000<br>6.600<br>380/220 (a) |
| Rusia | 50 ± 0,2 | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a) |
| Santa Lucia | 50 ± 3 | 240 (k) | 415/240 (a) | 11.000<br>415/240 (a) |
| Samoa | | 400/230 | | |
| San Marino | 50 ± 1 | 230/220 | 380 | 15.000<br>380 |
| Senegal | 50 ± 5 | 220 (a)<br>127 (k) | 380/220 (a)<br>220/127 (k) | 90.000<br>30.000<br>6.600 |
| Serbia și Muntenegru | 50 | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 10.000<br>6.600<br>380/220 (a) |
| Seychelles | 50 ± 1 | 400/230 (a) | 400/230 (a) | 11.000<br>400/230 (a) |
| Sierra Leone | 50 ± 5 | 230 (k) | 400/230 (a)<br>230 (k) | 11.000<br>400 |
| Singapore | 50 | 400/230 (a)<br>230 (k) | 400/230 (a) | 22.000<br>6.600<br>400/230 (a) |
| Siria | 50 | 220 (k)<br>115 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k)<br>200/115 (a) | 380/220 (a) |
| Slovacia | 50 ± 0,5 | 230 | 230 | 230/400 |
| Slovenia | 50 ± 0,1 | 220 (k) | 380/220 (a) | 10.000<br>6.600<br>380/220 (a) |
| Somalia | 50 | 230 (k)<br>220 (k)<br>110 (k) | 440/220 (j)<br>220/110 (j)<br>230 (k) | 440/220 (g)<br>220/110 (g) |
| Spania | 50 ± 3 | 380/220 (a) (e)<br>220 (k)<br>220/127 (a)<br>127 (k) | 380/220 (a)<br>220/127 (a) (e) | 15.000<br>11.000<br>380/220 (a) |
| Sri Lanka | 50 ± 2 | 230 (k) | 400/230 (a)<br>230 (k) | 11.000<br>400/230 (a) |
| S.U.A<br>Charlotte<br>(Carolina de Nord) | 60 ± 0,06 | 120/240 (j)<br>120/208 (a) | 265/460 (a)<br>120/240 (j)<br>120/208 (a) | 14.400<br>7.200<br>2.400<br>575 (f)<br>460 (f)<br>240 (f)<br>265/460 (a)<br>120/240 (j)<br>120/208 (a) |

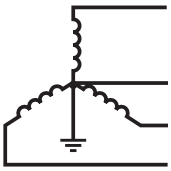
*Tab. C1: Tensiunea rețelelor locale de joasă tensiune și diagramele circuitelor asociate (se continuă pe pagina următoare).*

| Țara | Frecvența și toleranța (Hz & %) | Domestic (V) | Comercial (V) | Industrial (V) |
|---|---|---|---|---|
| S.U.A<br>Detroit (Michigan) | 60 ± 0,2 | 120/240 (j)<br>120/208 (a) | 480 (f)<br>120/240 (h)<br>120/208 (a) | 13.200<br>4.800<br>4.160<br>480 (f)<br>120/240 (h)<br>120/208 (a) |
| S.U.A<br>Los Angeles<br>(California) | 60 ± 0,2 | 120/240 (j) | 4.800<br>120/240 (g) | 4.800<br>120/240 (g) |
| S.U.A<br>Miami (Florida) | 60 ± 0,3 | 120/240 (j)<br>120/208 (a) | 120/240 (j)<br>120/240 (h)<br>120/208 (a) | 13.200<br>2.400<br>480/277 (a)<br>120/240 (h) |
| S.U.A<br>New York<br>(New York) | 60 | 120/240 (j)<br>120/208 (a) | 120/240 (j)<br>120/208 (a)<br>240 (f) | 12.470<br>4.160<br>277/480 (a)<br>480 (f) |
| S.U.A<br>Pittsburg<br>(Pennsylvania) | 60 ± 0,03 | 120/240 (j) | 265/460 (a)<br>120/240 (j)<br>120/208 (a)<br>460 (f)<br>230 (f) | 13.200<br>11.500<br>2.400<br>265/460 (a)<br>120/208 (a)<br>460 (f)<br>230 (f) |
| S.U.A<br>Portland (Oregon) | 60 | 120/240 (j) | 227/480 (a)<br>120/240 (j)<br>120/208 (a)<br>480 (f)<br>240 (f) | 19.900<br>12.000<br>7.200<br>2.400<br>277/480 (a)<br>120/208 (a)<br>480 (f)<br>240 (f) |
| S.U.A<br>San Francisco<br>(California) | 60 ± 0,08 | 120/240 (j) | 277/480 (a)<br>120/240 (j) | 20.800<br>12.000<br>4.160<br>277/480 (a)<br>120/240 (g) |
| S.U.A<br>Toledo (Ohio) | 60 ± 0,08 | 120/240 (j)<br>120/208 (a) | 277/480 (c)<br>120/240(h)<br>120/208 (j) | 12.470<br>7.200<br>4.800<br>4.160<br>480 (f)<br>277/480 (a)<br>120/208 (a) |
| Sudan | 50 | 240 (k) | 415/240 (a)<br>240 (k) | 415/240 (a) |
| Swaziland | 50 ± 2,5 | 230 (k) | 400/230 (a)<br>230 (k) | 11.000<br>400/230 (a) |
| Suedia | 50 ± 0,5 | 400/230 (a)<br>230 (k) | 400/230 (a)<br>230 (k) | 6.000<br>400/230 (a) |
| Tadjikistan | 50 | 380/220 (a)<br>220 (k)<br>220/127 (a)<br>127 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a) |
| Tanzania | 50 | 400/230 (a) | 400/230 (a) | 11.000<br>400/230 (a) |
| Thailanda | 50 | 220 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a) |
| Togo | 50 | 220 (k) | 380/220 (a) | 20.000<br>5.500<br>380/220 (a) |
| Tunisia | 50 ± 2 | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 30.000<br>15.000 |
| Turkmenistan | 50 | 380/220 (a)<br>220 (k)<br>220/127 (a)<br>127 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a) |
| Turcia | 50 ± 1 | 380/220 (a) | 380/220 (a) | 15.000<br>6.300<br>380/220 (a) |

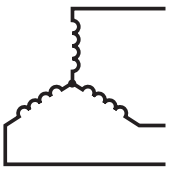
***Tab. C1:*** *Tensiunea rețelelor locale de joasă tensiune și diagramele circuitelor asociate (se continuă pe pagina următoare).*

| Țara | Frecvența și toleranța (Hz & %) | Domestic (V) | Comercial (V) | Industrial (V) |
|---|---|---|---|---|
| Uganda | + 0.1 | 240 (k) | 415/240 (a) | 11.000<br>415/240 (a) |
| Ucraina | + 0.2/- 1.5 | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) | 380/220 (a)<br>220 (k) |
| Ungaria | 50 ± 5 | 220 | 220 | 220/380 |
| Uruguay | 50 ± 1 | 220 (b) (k) | 220 (b) (k) | 15.000<br>6.000<br>220 (b) |
| Vietnam | 50 ± 0,1 | 220 (k) | 380/220 (a) | 35.000<br>15.000<br>10.000<br>6.000 |
| Yemen | 50 | 250 (k) | 440/250 (a) | 440/250 (a) |
| Zambia | 50 ± 2,5 | 220 (k) | 380/220 (a) | 380 (a) |
| Zimbabwe | 50 | 225 (k) | 390/225 (a) | 11.000<br>390/225 (a) |

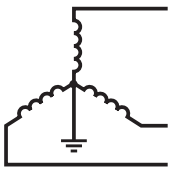
## Diagramele circuitelor:



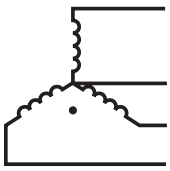
(a) Trifazat stea; patru conductoare; neutrul legat la pământ



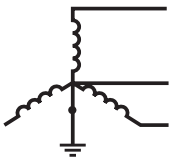
(b) Trifazat stea; trei conductoare



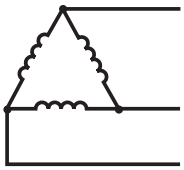
(c) Trifazat stea ; trei conductoare; neutrul legat la pământ



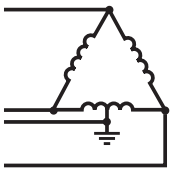
(d) Trifazat stea; patru conductoare; neutrul izolat



(e) Doua faze stea; trei conductoare; neutrul legat la pământ

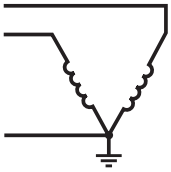


(f) Trifazat triunghi; trei conductoare

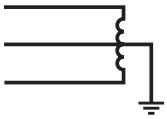


(g) Trifazat triunghi; patru conductoare; mijlocul unei faze legat la pământ

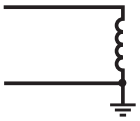
(h) Trifazat triunghi deschis; patru conductoare; mijlocul unei faze legat la pământ



(i) Trifazat triunghi deschis; trei conductoare; o fază legată la pământ

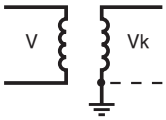


(j) Monofazic; trei conductoare; mijlocul legat la pământ

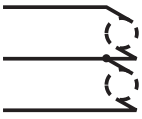


(k) Monofazic; două conductoare; capatul legat la pământ

(l) Monofazic; două conductoare; nelegat la pământ




(m) Monofazic; un fir, returul prin pământ



(n) Curent continuu; trei conductoare; nelegat la pământ

*Tab. C1: Tensiunea rețelelor locale de joasă tensiune și diagramele circuitelor asociate (sfârșit).*

## Consumatori de tip rezidențial sau comercial

Funcția unui distribuitor de rețea de joasă tensiune este să asigure racordarea (aerian sau subteran) a unui număr de consumatori de-a lungul traseului.
Cerințele de dimensionare al distribuitorului sunt estimate în funcție de numărul de consumatori ce urmează a fi racordați și de puterea medie cerută pe consumator.
Cei doi parametrii principali care limitează un distribuitor sunt:
- curentul maxim pe care este capabil să-l transporte în regim permanent;
- lungimea maximă a distribuitorului, care este dictată de căderea de tensiune maxim admisibilă, atunci când se transportă curentul maxim.

Aceste restricții înseamnă că sarcinile pe care operatorii de distribuție sunt dispuși să le conecteze la rețeaua de distribuție sunt în mod explicit limitate.
Pentru domeniul de sisteme de JT menționate în paragraful al doilea al subcapitolului 1.1 și anume de la 120 V monofazat până la 240/415 V trifazat, sarcinile maxime permise a fi conectate la rețeaua de distribuție de JT pot fi[(1)]: (vezi **Tab. C2.**)

| Sistem | Curentul maxim pe consumator racordat | kVA |
|---|---|---|
| 120 V 1 fază, 2 conductoare | 60 A | 7,2 |
| 120/240 V 1 fază, 3 conductoare | 60 A | 14,4 |
| 120/208 V 3 faze, 4 conductoare | 60 A | 22 |
| 220/380 V 3 faze, 4 conductoare | 120 A | 80 |
| 230/400 V 3 faze, 4 conductoare | 120 A | 83 |
| 240/415 V 3 faze, 4 conductoare | 120 A | 86 |

*Tab. C2: Sarcinile maxime permise a fi conectate pe un distribuitor de joasă tensiune.*

În practică există variații considerabile de la un furnizor de energie electrică la altul și nu pot fi date valori "standard".
Factorii ce trebuie luați în considerare sunt:
- dimensiunea unei linii de distribuție (distribuitor) existentă la care trebuie conectată o sarcină nouă;
- totalul sarcinilor deja conectate la linia de distribuție;
- plasarea în lungul liniei de distribuție a noii sarcini propuse, adică aproape de postul de transformare sau aproape de capătul liniei de distribuție, etc.

Pe scurt, fiecare caz trebuie examinat în particular.
Nivelele de sarcină listate mai sus sunt adecvate pentru toți consumatorii casnici, precum și pentru clădiri administrative și comerciale.

## Consumatori industriali de putere medie si mică (cu cabluri proprii de alimentare la JT direct dintr-un post de transformare de distribuție publică MT/JT)

Consumatorii industriali de putere medie și mică pot fi alimentați în mod satisfăcător la joasă tensiune.
Pentru sarcini care depășesc limita maximă permisă pentru o linie de distribuție, poate fi instalat un cablu special de la același post de transformare de la care pleacă linia de distribuție.
În principiu, limita maximă a sarcinii care poate fi alimentată astfel este determinată numai de parametrii transformatorului din postul de transformare.
Cu toate acestea, în practică:
- sarcinile mari (peste 300 kVA) necesită în mod corespunzător cabluri cu secțiune mare, astfel că, în afară de situația în care sarcina este plasată aproape de postul de transformare, această soluție poate fi nefavorabilă din punct de vedere economic;
- mulți furnizori de energie electrică preferă să alimenteze la medie tensiune sarcinile ce depășesc 200 kVA (această mărime variază în funcție de furnizor).

Pe baza acestor considerente, liniile de alimentare recomandate la JT (de la 220/380 V la 240/415 V) sunt recomandate pentru un domeniu de sarcini de la 80 kVA la 250 kVA.
Consumatorii obișnuiți alimentați la JT sunt:
- locuințe;
- spații comerciale;
- fabrici mici, spații de lucru, benzinării;
- restaurante;
- ferme, etc.

*(1) Valorile indicate în **Tabelul C2** sunt numai orientative, fiind (arbitrar) bazate pe 60 A, curent maxim de serviciu pe consumator racordat pentru primele trei sisteme, din cauza căderilor de tensiune maxime admise. Valorile pentru următoarele trei sisteme sunt (din nou arbitrar) bazate pe un curent maxim de serviciu pe consumator racordat de 120 A.*

# 1 Rețelele de distribuție de joasă tensiune ale furnizorilor de energie



*În orașele mari, cablurile de distribuție de JT standardizate sunt legate în cutii de distribuție formând o rețea. O parte din legături sunt secționate, astfel că fiecare linie de distribuție care pleacă de la postul de transformare formează un sistem arborescent radial deschis, după cum este prezentat în **Fig. C3**.*

## 1.2 Rețelele de distribuție de joasă tensiune

În țările europene nivelurile de tensiune a liniilor principale de distribuție trifazate cu 4 conductoare sunt 220/380 V, 230/400 V. Mai multe țări sunt în curs de implementare a tensiunii stabilite prin ultimul standard (CEI 60038), care este de 230/400 V.
Orașele mari și mijlocii au sisteme de linii de distribuție subterane. Posturile de transformare de distribuție publică MT/JT sunt așezate la distanțe de 500 - 600 m și sunt în mod obișnuit echipate cu:
- tablouri de distribuție cu 3 sau 4 celule de linie care conțin în general separatoare de sarcină de intrare și ieșire, care fac parte dintr-un inel principal, și 1 sau 2 întreruptoare de MT sau combinații separator de sarcină - siguranțe fuzibile pentru circuitele de protecție transformator;
- unul sau două transformatoare MT/JT de 1000 kVA;
- unul sau două tablouri de distribuție de JT (cuplate), trifazate, cu siguranțe fuzibile sau cu întreruptoare automate, protejând plecările în cabluri cu 4 conductoare, denumite “distribuitori”.

Ieșirea de la transformator este conectată la barele de JT printr-un separator de sarcină sau pur și simplu printr-o legătură de izolare.
În zonele cu consum mare de energie electrică se stabilește o lungime standard a liniei principale de distribuție, luată drept standard pentru formarea unei rețele. În acest sens este pozat câte un cablu de-a lungul fiecărui trotuar, iar la intersecțiile străzilor se plasează câte o cutie de conexiuni cu 4 linii, plasată într-o nișă, poziția acesteia coincizând cu punctele de intersecție a doi “distribuitori”.
Tendința actuală este de a se creea cabine supraterane, protejate la intemperii, plasate la perete sau unde este posibil încastrate în perete.
Legăturile sunt inserate astfel ca liniile principale de distribuție de la postul de transformare să formeze circuite radiale cu ramuri deschise (vezi **Fig. C3.**).
Când o cutie de distribuție unește o linie principală de distribuție de la un post de transformare cu alta de la un post de transformare învecinat, legăturile de fază sunt întrerupte, în timp ce conductorul de neutru rămâne conectat.

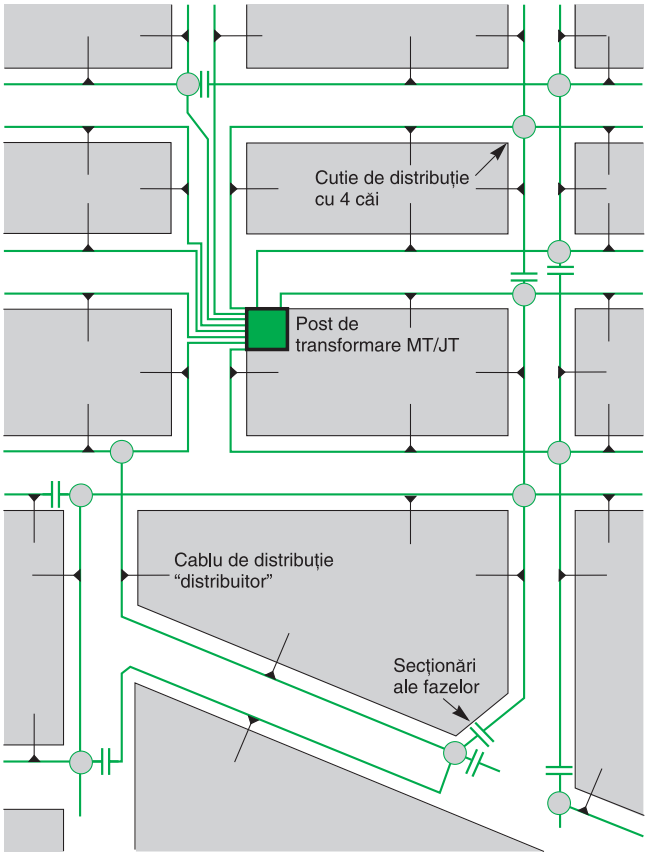



***Fig. C3:*** *Exemplificarea unei rețele de distribuție arborescente urbane.*

*În zonele urbane cu consum redus se folosește un sistem radial de distribuție în care conductoarele au secțiuni mai mici pe măsură ce distanța de la postul de transformare crește.*

Acest aranjament conduce la un sistem flexibil în care un post de transformare poate fi scos de sub tensiune pentru revizie, zona alimentată de acesta urmând să fie suplinită de posturile de transformare aflate în vecinatate.
În plus, liniile de distribuție scurte (între două cutii de distribuție) pot fi izolate la defecțiuni locale și reparate.
Funcție de densitatea sarcinilor, posturile de transformare pot fi așezate mai aproape unul de altul și uneori sunt necesare și transformatoare de până la 1500 kVA.
În zone cu densități mici de consumatori sunt des folosite alte forme de rețea urbană de JT, bazată pe cutii de distribuție, plasate în punctele strategice ale rețelei.
Aceste scheme exploatează principiul rețelei de distribuție radială în care secțiunea conductorului se diminuează pe măsură ce numărul consumatorului se reduce, o dată cu depărtarea față de postul de transformare.
În această schemă un număr de conductoare radiale de JT, cu secțiune mare, din tabloul de distribuție din postul de transformare alimentează barele colectoare ale cutiei de distribuție de la care alte conductoare cu secțiune mai redusă alimentează consumatorii din apropierea cutiei.
Distribuția de energie electrică în zone periferice și rurale a fost bazată mulți ani pe conductoare de cupru masiv, susținute pe stâlpi din lemn, beton sau oțel și alimentate din transformatoare montate pe stâlpi sau la sol.

*În multe țări se utilizează acum rețele aeriene cu conductoare izolate torsadate.*

În ultimii ani se folosesc conductoare de JT torsadate, izolate, care intră în componența unor cabluri cu mai multe conductoare. Aceste cabluri autoportante se folosesc la liniile aeriene și sunt considerate mai sigure decât liniile de cupru masiv. Acest lucru este valabil mai ales la conductoarele fixate pe pereți (de ex. montate sub cornișe) unde sunt greu observabile.
De notat că, principii similare sunt aplicate la tensiuni mai înalte, și astfel de conductoare torsadate, izolate, autoportante pentru instalații aeriene sunt disponibile și pentru rețele de 24 kV.
În situațiile în care mai mult decât un post de transformare alimentează cu energie electrică o localitate, conexiunile se fac pe stâlpii pe care se întâlnesc liniile de JT de la diferite posturi de transformare, pentru a avea o posibilitate de preluare în timpul situațiilor de urgență. Conductoarele de neutru rămân în permanență conectate.

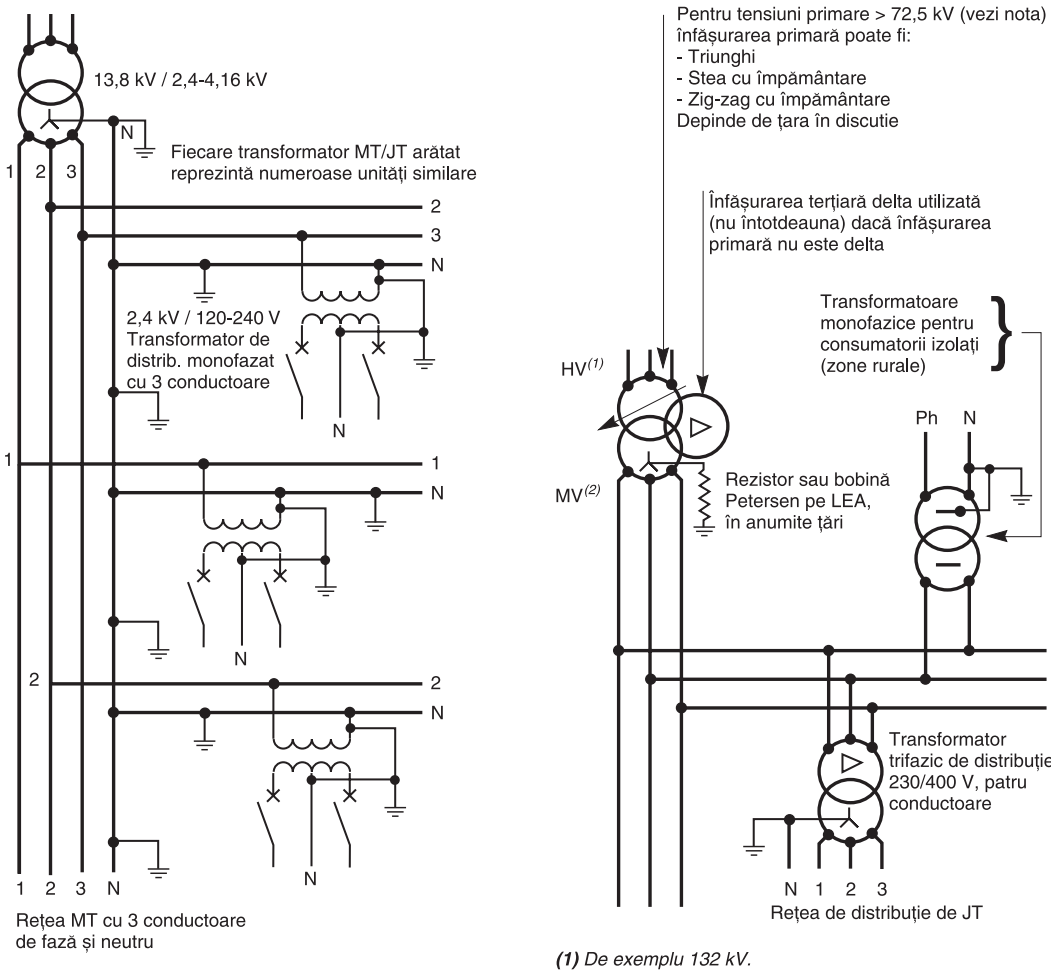
*În Europa, fiecare post de transformare de distribuție publică a energiei electrice este capabil să alimenteze la JT o suprafață pe o rază de aproximativ 300 m.*
*Sistemele de distribuție din America Centrală și de Nord constau dintr-o rețea de MT de la care prin numeroase transformatoare (mici) MT/JT alimentează direct unul sau mai mulți consumatori .*

Spre deosebire de Europa, în America Centrală și de Nord rețelele de JT sunt practic inexistente și alimentarea trifazică casnică în zone de locuit este rară.
Distribuția de energie electrică este în mod efectiv asigurată la MT într-un mod diferit de practica standardelor europene. Sistemul de MT este de fapt un sistem trifazic cu 4 conductoare de la care liniile de distribuție monofazate (fază și conductor neutru) alimentează numeroase transformatoare monofazate.
Secundarele înfășurărilor transformatorului sunt reglate să asigure alimentarea monofazată cu 3 conductoare la 120/240 V. Conductoarele centrale asigură neutrul de JT, care împreună cu neutrul conductoarelor de MT sunt împământate la anumite distanțe.
Fiecare transformator MT/JT alimentează direct unul sau mai mulți consumatori prin cabluri radiale sau linii aeriene.
Multe alte sisteme există în aceste țări dar cel descris mai sus este cel mai comun.
**Figura C4** (pagina următoare) arată principalele caracteristici ale celor două sisteme.

## 1.3 Conectarea consumatorului la rețea

*Aparatele de racord și echipamentul de măsurare se instalau în trecut în interiorul clădirilor. Tendința modernă este ca ele să fie plasate în exterior, într-un cofret rezistent la intemperii .*

În trecut, un cablu de distribuție subteran sau un conductor izolat montat pe perete, provenit de la o linie electrică aeriană avea terminalele în interiorul imobilelor într-o cutie izolată care conținea capetele terminale ale cablurilor, siguranțe fuzibile (inaccesibile consumatorului) și echipamentele pentru măsură.
Tendința modernă este ca aceste componente să fie cât mai repede transferate într-un cofret izolat rezistent la intemperii, în exteriorul clădirii.
În mod obișnuit, interfața (punctul de separare) dintre furnizorul de energie electrică și consumator este constituită de bornele de ieșire ale echipamentelor de măsură sau, în anumite cazuri, la bornele de intrare ale întreruptorului principal (în funcție de particularitățile locale). Autoritatea furnizoare de energie electrică execută conectarea la aceste borne în urma testării și verificării instalației.
Un aranjament tipic este prezentat în **Fig. C5** (pagina următoare).




***(1)*** *De exemplu 132 kV.*
***(2)*** *De exemplu 11 kV.*

***Notă:*** *La tensiuni primare mai mari de 72,5 kV este o practică obișnuită în multe țări europene să utilizeze o înfășurare primară în stea cu împământare și o înfășurare secundară în triunghi. Neutrul pe secundar este furnizat de o bobină în zig-zag al cărui punct neutru este conectat la pământ printr-un rezistor.*
*Frecvent, bobina de împământare are o înfășurare secundară pentru a furniza alimentarea trifazică pentru servicii interne. De aceea se mai folosește și denumirea de "transformator de împământare".*

***Fig. C4:*** *Cele mai folosite sisteme de tip american și european.*

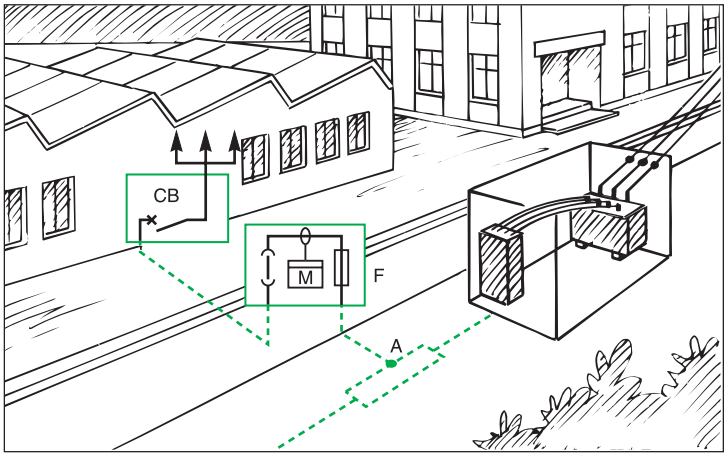
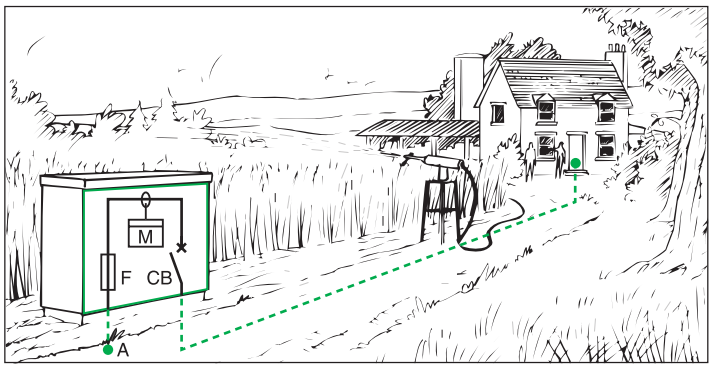



***Fig. C5:*** *Branșament tipic pentru sisteme TT de tratare a neutrului.*

*Consumatorii de JT sunt în mod normal alimentați în sistemele TN sau TT după cum s-a descris în capitolele F și G. Întreruptorul principal al instalației în sistemul TT trebuie să includă și un dispozitiv de protecție împotriva scurgerilor la pământ (PACD). Pentru un sistem TN este necesară protecția la supracurent prin întreruptor automat sau fuzibil.*

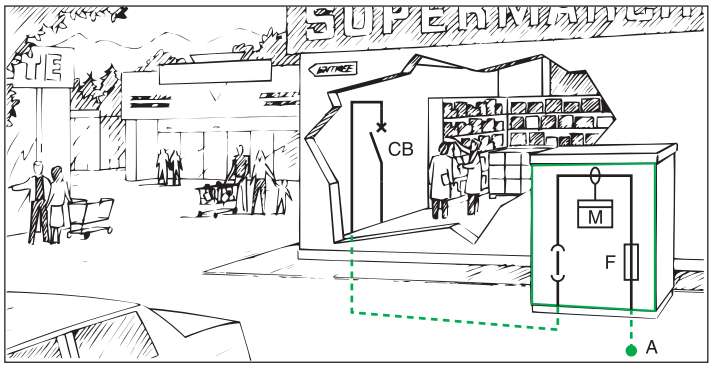
Un MCCB (întreruptor automat în carcasă turnată) care încorporează un dispozitiv de protecție diferențială reziduală este obligatoriu în amontele unei instalații funcționând în sistem TT. Motivele pentru aceasta precum și nivelurile de declanșare sunt discutate pe larg în paragraful 3 al capitolului G.
Un motiv în plus pentru utilizarea MCCB este acela că un consumator nu poate depăși sarcina maximă de consum declarată (contractual) deoarece nivelul de reglaj la suprasarcină, sigilat de furnizorul de energie, va întrerupe alimentarea când consumul depășește valoarea declarată.
Conectarea și deconectarea MCCB este accesibilă consumatorului; la un defect în instalație sau la o suprasarcină MCCB va declanșa și consumatorul poate restabili în mod rapid alimentarea după înlăturarea defecțiunii.
Datorită inconvenientelor, atât la citirea aparatelor de măsură cât și pentru consumator, în prezent, acestea se plasează pe domeniul public, după cum urmează:

- într-o cabină independentă, de tipul celei prezentate în **Figurile C6** și **C7**;
- într-un spațiu din interiorul unei clădiri, dar având intrarea în cablu și fuzibilele de pe partea de alimentare cu energie electrică plasate într-o cutie protejată la intemperii și accesibilă din domeniul public. Acest lucru este prezentat în **Fig. C8** (pagina următoare).
- echipamentul destinat consumului de tip casnic, prezentat în **Fig. C5** este plasat într-un cofret rezistent la intemperii. Acesta se plasează la limita domeniului public sau în zidul clădirii fiind accesibil din calea publică. **Fig. C9** (pagina următoare) prezintă acest montaj în care siguranțele fuzibile îndeplinesc și funcția de separare, respectiv izolare.




În acest tip de instalații este adesea necesară plasarea întreruptorului automat principal la oarecare distanță de punctele de utilizare cum ar fi gatere sau stații de pompare.

***Fig. C6:*** *Branșament tipic pentru instalații de tip rural.*

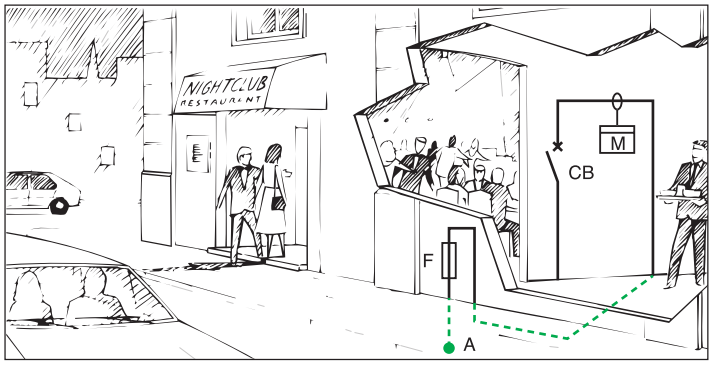



Întreruptorul automat principal este amplasat în incinta consumatorului în cazul în care este reglat să declanșeze la depășirea puterii maxime declarate.

***Fig. C7:*** *Branșament tipic pentru instalații de tip semi-urban (mici magazine, etc.)*

# 1 Rețelele de distribuție de joasă tensiune ale furnizorilor de energie






Cablul principal de branșament are terminalele într-un cofret montat aparent sau îngropat în zid, accesibil din domeniul public, care conține fuzibilele necesare pentru izolare. Această metodă este preferată din motive estetice atunci când consumatorul poate oferi un spațiu adecvat pentru măsură și pentru întreruptorul principal.

***Fig. C8:*** *Branșament pentru instalații de tip urban.*

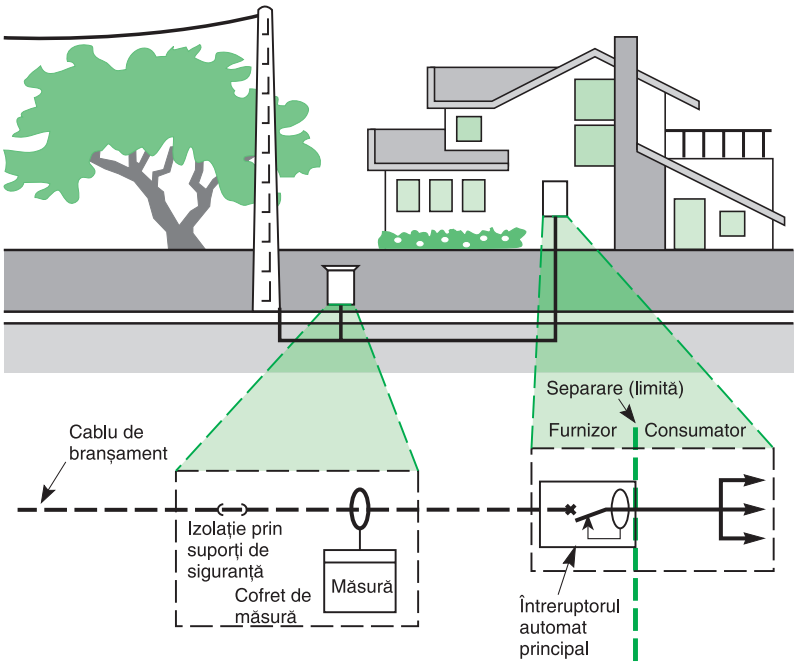



***Fig. C9:*** *Branșament tipic pentru consumatori casnici.*

În domeniul măsurii, dezvoltarea tehnicii echipamentelor electronice a făcut atractivă utilizarea noilor echipamente de către furnizori atât pentru măsură cât și pentru facturare. Liberalizarea piețelor de electricitate a crescut nevoia de date furnizate de echipamentele de măsură. Ca un exemplu măsura electronică poate ajuta furnizorii să înteleagă profilul energetic al consumatorilor pentru previziuni pe termen scurt și mediu. Trebuie să ne așteptăm și la apariția unor noi aplicații precum comunicații pe linii de energie (Power Line Communication) și aplicații pe frecvențe radio.
Tot în acest domeniu sistemele cu pre-plată sunt din ce în ce mai folosite acolo unde sunt justificate din punct de vedere economic. Consumatorii cumpără o cartelă, care valorează un număr de kWh, pe care o introduc în contor. Pentru acele sisteme necesitățile cheie sunt securitatea și interoperabilitatea, care acum par a fi indeplinite. Atractivitatea acestor sisteme constă în faptul că vor înlocui nu numai contoarele clasice ci și sistemele de facturare, citirea contoarelor și administrarea încasărilor.

*Un nivel adecvat al tensiunii la bornele consumatorilor este esențial pentru buna funcționare a echipamentelor și a receptorilor. Valorile necesare ale curentului, căderile de tensiune dintr-un sistem tipic de JT, subliniază importanța menținerii unui factor de putere mare, ca mijloc de reducere a căderilor de tensiune.*

## 1.4 Calitatea tensiunii de alimentare

În sensul cel mai larg calitatea tensiunii de alimentare pentru rețelele de JT implică:
- concordanța cu limitele statutare privind amplitudinea și frecvența;
- inexistența unor fluctuații continue în interiorul acestor limite;
- alimentarea neîntreruptă cu energie, cu excepția deconectărilor necesare operațiilor programate de întreținere și celor datorate avariilor în sistem sau altor situații de urgență;
- păstrarea unei unde de tensiune cât mai sinusoidale.

În acest paragraf se va analiza numai problema menținerii amplitudinii tensiunii de alimentare.
În majoritatea țărilor, furnizorul de energie electrică are obligația statutară de a menține nivelul tensiunii de alimentare, în zona de utilizare, în limitele de ±5% (în unele cazuri de ± 6%, vezi **Tab. C1**) ale valorii nominale declarate.
Recomandările CEI și majoritatea standardelor naționale, recomandă ca receptorii de JT să functioneze satisfăcător în limitele de ±10% ale tensiunii nominale. Aceasta asigură o marjă de siguranță față de condițiile cele mai defavorabile (de exemplu -5% în zona de utilizare) urmată de o cădere de tensiune de 5% în conductoarele instalației.
Într-un sistem tipic de distribuție căderile de tensiune se produc în modul următor: în mod normal, tensiunea la bornele de MT ale unui transformator coborâtor MT/JT este menținută în intervalul de ±2% datorită utilizării comutatoarelor automate de ploturi sub sarcină ale transformatoarelor din stațiile de transformare principale (exemplu 110/20 kV). Aceste stații alimentează rețeaua respectivă fiind conectate la un sistem de transport de energie de înaltă tensiune.
Dacă transformatorul MT/JT este plasat în apropierea unei astfel de stații de transformare principale, intervalul de ±2% va fi centrat astfel încât nivelul de tensiune să fie mai mare decât tensiunea nominală la MT.
De exemplu tensiunea poate fi 20,5 kV ±2% într-un sistem cu tensiunea nominală de 20 kV. În acest caz transformatorul de distribuție MT/JT va trebui să aibă comutatorul de ploturi de pe partea de MT reglat pe poziția de +2,5%.
În mod similar, în zonele depărtate de stațiile de transformare principale, este posibilă o valoare de tensiune de 19,5 kV ±2%. În acest caz comutatorul de ploturi trebuie să fie reglat pe poziția de -5%.
Aceste diferențe de nivel de tensiune într-un sistem de alimentare, sunt normale și depind de valoarea și logistica fluxului de energie electrică. De altfel aceste diferențe între valorile de tensiune sunt motivul utilizării termenului de “nominală” când ne referim la tensiunea sistemului.

### Aplicații practice

Se consideră un transformator MT/JT, cu reglaj corect al comutatorului de ploturi, care permite menținerea tensiunii, în condiții de sarcină la o valoare de ±2% față de tensiunea în gol.
Pentru a avea certitudinea că transformatorul menține tensiunea necesară și la sarcină nominală, tensiunea în gol trebuie să fie la o valoare maximă posibilă, fără să se depășească limita de 5% (adoptată pentru acest exemplu). În prezent raportul de transformare corespunzător înfășurărilor, asigură o tensiune secundară de 104% la mersul în gol[(1)], atunci când în primar se aplică tensiunea nominală la MT sau o valoare corectată prin comutatorul de ploturi, așa cum s-a prezentat anterior.
Relativ la exemplul nostru, aceasta reprezintă o variație de tensiune între 102% și 106% față de valoarea nominală.
Un transformator tipic de distribuție la JT are o tensiune de scurtcircuit de 5%. Dacă se consideră pentru căderea de tensiune rezistivă o zecime din aceasta, atunci căderea de tensiune la funcționarea în plină sarcină, la factorul de putere 0,8 va fi:

$\Delta U\% = R\% \cos\varphi + X\% \sin\varphi = 0,5 \times 0,8 + 5 \times 0,6 = 0,4 + 3 = 3,4\%$

Valorile de tensiune la bornele transformatorului în plină sarcină se vor încadra între (102 - 3,4) = 98,6% și (106 - 3,4) = 102,6%.
Valoarea maximă admisibilă pentru căderea de tensiune de-a lungul unui cablu de distribuție este de 98,6 - 95 = 3,6% .
În mod practic aceasta înseamnă că un cablu trifazat cu patru conductoare din cupru, la 230/400 V, de secțiune de 240 mm$^2$, este capabil să transmită puterea de 292 kVA uniform distribuită mai multor consumatori, la $\cos\varphi = 0,8$, la o distanță de 306 m față de tabloul de distribuție.
Aceeași putere poate fi transmisă la distanța de 153 m de transformator, în cazul unui singur consumator, dacă se consideră aceeași cădere de tensiune.
Este interesant de remarcat faptul că încărcarea maximă a cablului, bazată pe CEI 60287 (1982) este de 290 kVA, astfel încât marja de 3,6% nu este cu totul restrictivă, adică cablul poate fi încărcat la sarcina nominală pentru distanțe uzuale în distribuția la JT.
Este de remarcat că $\cos\varphi = 0,8$ se referă la consumatorii industriali. În zonele semiindustriale, cea mai potrivită valoare este 0,85, în timp ce $\cos\varphi = 0,9$ reprezintă cazul cel mai uzual în calculele ce se referă la zonele de locuit. În acest mod, căderea de tensiune menționată mai sus poate fi considerată drept cazul cel mai defavorabil.

***(1)*** *Transformatoarele proiectate pentru 230/400V conform standardelor CEI vor avea o tensiune în gol de 420 V, adică 105% din tensiunea nominală.*

# 2 Măsura energiei și tarifele



Prezenta lucrare nu își propune să analizeze tarife particulare, mai ales că acestea sunt de o mare diversitate în funcție de furnizorul de energie electrică din fiecare țară.
Deși unele tarife au o structură foarte complicată, câteva elemente sunt comune tuturor și au drept scop să determine pe consumatori să gestioneze consumul de energie (reducând astfel costurile de producție, de transport și de distribuție).
Cele două metode de bază prin care se poate reduce costul energiei electrice livrate la consumator sunt:
- reducerea pierderilor de putere în producția, transportul și distribuția energiei electrice. În principiu, pierderile minimale se ating atunci când toate componentele sistemului energetic funcționează la un factor de putere cât mai aproape de unitate;
- reducerea cererilor de putere la vârf de sarcină, concomitent cu creșterea puterii absorbite în golul de sarcină, adică aplatizarea curbei de sarcină care conduce la o exploatare mai eficientă a centralelor electrice.

## Reducerea pierderilor

În practică, fiind departe de condițiile ideale menționate mai sus, structura tarifelor se bazează în parte pe cererea de putere aparentă (kVA), precum și pe energia consumată sub formă de energie activă (kWh). Dat fiind că pentru un anume consumator de putere activă, puterea aparentă minimă corespunde la cos $\varphi = 1$, consumatorul poate minimiza nota de plată a energiei prin corecția factorului de putere (cum este prezentat în capitolul L).
Valoarea puterii aparente, utilizată în tarife, este egală cu valoarea maximă a puterii medii cerute pe durata unui interval de contorizare. Aceasta se bazează pe valoarea medie a puterii aparente absorbite pe durate fixe (în general perioade de 10, 30 sau 60 de minute) după care se selectează valoarea maximă din șirul acestor valori.
Metoda este descrisă mai departe în “principiul contorizarii cererii de putere aparentă maxima”.

## Reducerea vârfului de putere absorbită

Cel de al doilea obiectiv adică reducerea cererilor de putere la vârf de sarcină, concomitent cu creșterea puterii absorbite în golul de sarcină a dus la elaborarea unor tarife care oferă o reducere substanțială de cost, în următoarele cazuri:
- în anumite ore ale zilei;
- în anumite perioade ale anului.

Cel mai simplu exemplu este acela al unui consumator casnic, sub forma unui sistem de încălzire al apei sau al locuinței, cu acumulare de energie termică.
Contorul are două înregistratoare digitale, unul din ele funcționând în timpul zilei, iar celălalt (comutat de un dispozitiv cu ceas) în timpul nopții. Alimentarea încălzitorului se face printr-un contactor, comandat de același dispozitiv cu ceas, astfel încât sistemul să funcționeze, în mod normal, în perioadele cu tariful cel mai redus.
Încălzitorul poate fi conectat manual în orice perioadă, dar în acest caz se vor aplica tarifele corespunzătoare. Marii consumatori industriali pot avea 3 sau 4 moduri diferite de tarifare care se aplică la diversele ore ale zilei și la diversele perioade ale anului.
În aceste sisteme de tarifare, raportul dintre costul unui kWh pe o durată ce corespunde vârfului de sarcină anual, și costul per kWh în perioada cu încărcarea cea mai redusă, poate ajunge chiar de 10:1.

## Contoare

Este evident că, pentru a implementa acest fel de contorizare sunt necesare instrumente și dispozitive de înaltă calitate.
Aplicarea actuală a acestor principii este favorizată de dezvoltarea unor contoare electronice cu microprocesor, precum și utilizarea comenzilor la distanță de tip “ripple control”[1], emise de centrul de control al furnizorului de energie. (acesta poate, de exemplu să schimbe perioada de vârf de sarcină pe durata unui an, etc.).
În majoritatea țărilor, tarifele se bazează pe cererea de putere aparentă, coroborată cu consumul de putere activă, contorizate pe durate fixe (de obicei, intervale de 3 luni). Puterea aparentă maximă înregistrată de contor, este de fapt un maximum selectat între puteri aparente medii, (cea mai mare valoare) măsurate pe intervalul de timp de facturare.

***(1)*** *Ripple control - un sistem de transmitere de semnale, prin injectarea unui curent de frecvență audio (de obicei la 175 Hz) în circuitele de rețea la nivelul posturilor de transformare de JT. Funcțiile sunt realizate prin recunoașterea de către relee speciale a unor coduri care se transmit sub formă de impulsuri. Fiecare cod corespunde unei anumite funcții și astfel se pot realiza până la 960 comenzi diferite.*

**Figura C10** prezintă o curbă caracteristică a puterii aparente absorbite pe durata a 2 ore, perioadă împărţită în intervale de 10 minute. Contorul măsoară valoarea medie a puterii aparente pentru fiecare interval de 10 minute.

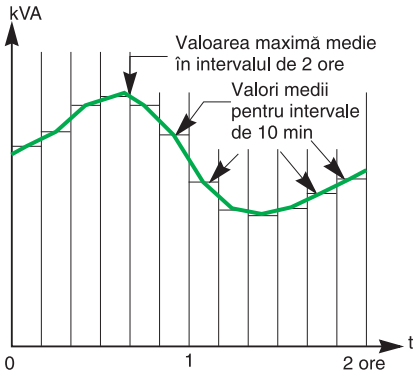



***Fig. C10:*** *Valoarea maximă medie a puterii aparente pe un interval de 2 ore.*

## Principiul măsurării maximului puterii aparente absorbite

Un contor de măsurare a energiei corespunzătoare puterii aparente (kVAh) are o structură similară cu cea corespunzătoare celor care măsoară energia corespunzătoare puterii active (kWh) numai că relaţia de fază dintre tensiune şi curent a fost modificată, pentru a se putea măsura efectiv în kVAh (kilo-volt-amper-oră). Contorul de energie aparentă, spre deosebire de cel de energie activă, este echipat cu un indicator rotativ. Atunci când indicatorul se roteşte, acesta măsoară energia corespunzătoare puterii aparente şi împinge un element de marcaj (roşu) de înregistrare a valorii maxime. După un interval de 10 minute, indicatorul a executat o mişcare de rotaţie de-a lungul cadranului corespunzător (prin construcţie nu se permite ca indicatorul să execute o rotaţie completă în intervalul a 10 minute), fiind apoi resetat electric la poziţia de zero, pentru a începe o nouă deplasare în intervalul următor de 10 minute. Elementul de marcaj rămâne la poziţia corespunzatoare a indicatorului, care arată valoarea energiei aparente (în kilo-volt-amperi-ore) absorbite de consumator în 10 minute. Este posibil ca, în loc de a avea cadranul gradat în kVAh, acesta poate fi măsurat în unităţi corespunzătoare puterii aparente medii (kVA). În continuare se va explica acest lucru.
Să presupunem că marcajul roşu se opreşte la o poziţie corespunzătoare valorii de 5 kVAh. Se ştie că puterea aparentă instantanee, cu valori variabile, este contorizată pentru 10 minute, adică 1/6 ore.
Dacă se împarte valoarea de 5 kVAh la numărul de ore, se obţine valoarea medie a puterii aparente pe intervalul respectiv. În cazul nostru, aceasta va fi:

$$5 \times \frac{1}{\frac{1}{6}} = 5 \times 6 = 30 \text{ kVA}$$

Fiecare punct de pe cadran, va fi marcat în mod similar în kVA, adică valoarea puterii aparente medii va fi de 6 ori mai mare decât valoarea corespunzătoare în kVAh. Acelaşi raţionament se poate aplica pentru orice interval de resetare.
La sfârşitul perioadei de facturare, marcajul roşu va fi plasat astfel încât va indica valoarea maximă a puterilor aparente medii corespunzătoare acestei perioade. Elementul de marcaj va fi resetat la zero la sfârşitul fiecărei perioade de facturare.
Contoarele electro-mecanice, de tipul celui descris anterior, sunt înlocuite în prezent cu aparate electronice. În cazul acestora, principiile de măsurare de bază sunt aceleaşi cu cele descrise anterior.

# Capitolul D
# Ghid de selecție a arhitecturii de MT și JT

## Cuprins


| | | |
|---|---|---|
| **1** | **Interesul utilizatorului** | **D3** |
| **2** | **Procesul simplificat de proiectare a arhitecturii** | **D4** |
| | 2.1 Proiectarea arhitecturii | D4 |
| | 2.2 Întregul proces | D5 |
| **3** | **Caracteristicile unei instalații electrice** | **D7** |
| | 3.1 Activitate | D7 |
| | 3.2 Topologia amplasamentului | D7 |
| | 3.3 Cerințe de amplasare | D7 |
| | 3.4 Siguranța în funcționare | D8 |
| | 3.5 Mentenabilitatea | D8 |
| | 3.6 Flexibilitatea instalației | D8 |
| | 3.7 Puterea instalată | D9 |
| | 3.8 Distribuția consumatorilor | D9 |
| | 3.9 Sensibilitatea la întreruperea alimentării | D9 |
| | 3.10 Sensibilitatea la perturbații | D10 |
| | 3.11 Capacitatea circuitelor de a genera perturbații | D10 |
| | 3.12 Alte considerații și limitări | D10 |
| **4** | **Caracteristici tehnologice** | **D11** |
| | 4.1 Mediu, atmosferă | D11 |
| | 4.2 Indicele de serviciu | D11 |
| | 4.3 Alte considerații | D12 |
| **5** | **Criterii de decizie a arhitecturii** | **D13** |
| | 5.1 Timpul de execuție | D13 |
| | 5.2 Impactul asupra mediului | D13 |
| | 5.3 Nivelul mentenanței preventive | D14 |
| | 5.4 Disponibilitatea alimentării cu energie electrică | D14 |
| **6** | **Alegerea elementelor de bază ale arhitecturii** | **D15** |
| | 6.1 Racordarea la rețeaua amonte | D15 |
| | 6.2 Configurația circuitelor de MT | D16 |
| | 6.3 Numărul și amplasarea posturilor de transformare MT/JT | D17 |
| | 6.4 Numărul transformatoarelor MT/JT | D18 |
| | 6.5 Generatoare de rezervă de MT | D18 |
| **7** | **Alegerea detaliilor arhitecturii** | **D19** |
| | 7.1 Planul general | D19 |
| | 7.2 Arhitectura centralizată sau distribuită | D20 |
| | 7.3 Prezența surselor de alimentare neîntreruptibile (UPS) | D22 |
| | 7.4 Configurația circuitelor de JT | D22 |
| **8** | **Alegerea echipamentului** | **D25** |

**9 Recomandări pentru optimizarea arhitecturii D26**

9.1 Munca pe șantier D26

9.2 Impactul asupra mediului D26

9.3 Volumul mentenanței preventive D28

9.4 Disponibilitatea energiei electrice D28

**10 Glosar D29**

**11 Programul de calcul ID-Spec D30**

## Alegerea arhitecturii de distribuţie

Alegerea arhitecturii de distribuţie are un impact decisiv asupra performanţelor instalaţiei de-a lungul duratei de viaţă:
- încă de la faza de implementare, alegerea poate influenţa în mare măsură timpul de realizare, posibilităţile de lucru, competenţa necesară echipei de lucru, etc.;
- există de asemenea un impact important asupra perfomanţelor instalaţiei în timpul funcţionării, din punct de vedere al calităţii şi continuităţii în alimentarea cu energie electrică a sarcinilor sensibile, al pierderilor de putere în circuitele de alimentare;
- şi, în final, va exista un impact asupra proporţiei în care instalaţia poate fi reciclată la sfârşitul duratei sale de viaţă.

Arhitectura unei instalaţii de distribuţie electrică se referă la definirea configuraţiei spaţiale, la alegerea surselor de alimentare, la definirea diferitelor niveluri de distribuţie, a schemelor monofilare şi în final la alegerea echipamentelor.
Alegerea celei mai bune arhitecturi se exprimă deseori în termeni de compromis între diferitele criterii de performanţă care interesează utilizatorii instalaţiei până la sfârşitul duratei sale de viaţă. Cu cât se vor căuta mai devreme soluţii, cu atât există mai multe posibilităţi de optimizare (vezi **Fig. D1**).

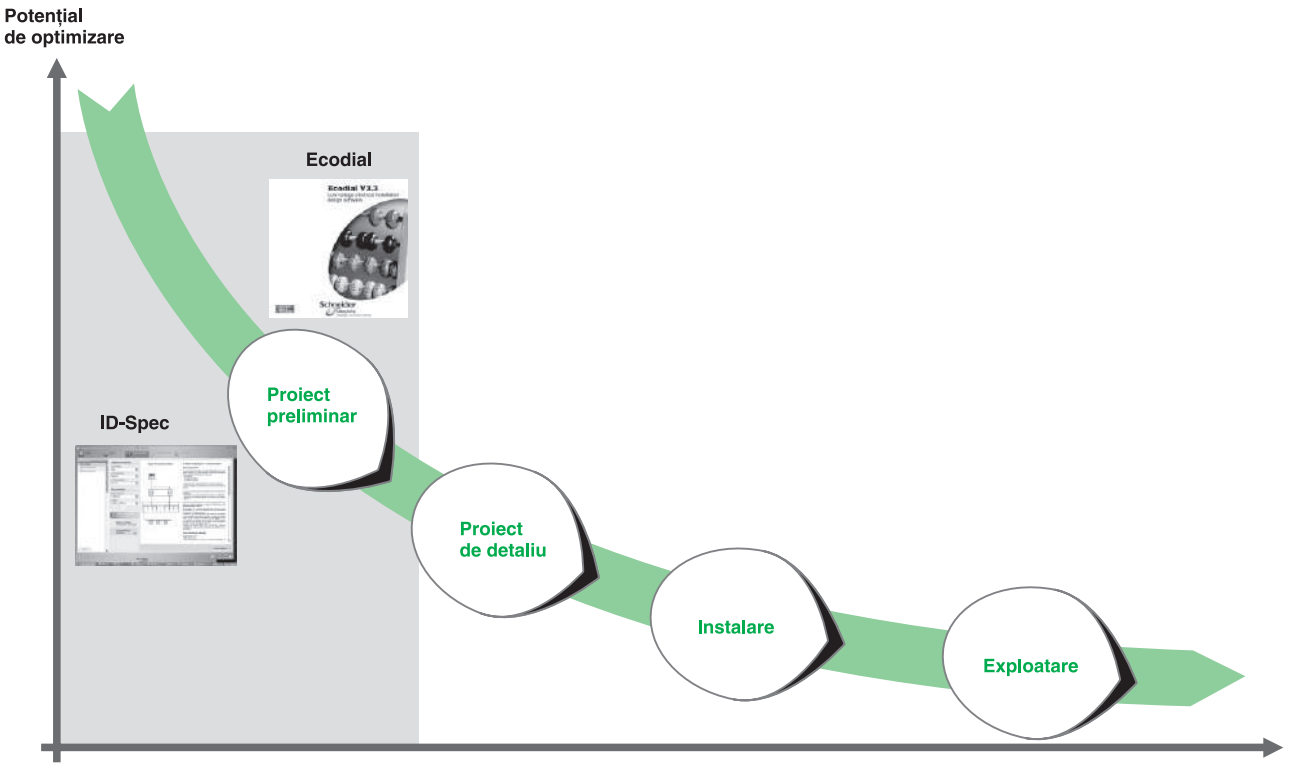



*Fig. D1: Potenţialul de optimizare.*

Căutarea soluţiei optime este de asemenea puternic legată de abilitatea de comunicare între persoanele implicate în proiectarea diferitelor secţiuni ale proiectului:
- arhitectul, care defineşte organizarea clădirii în funcţie de cerinţele beneficiarului;
- proiectantul diferitelor secţiuni tehnice (iluminat, încălzire, aer condiţionat, fluide, etc.);
- reprezentantul beneficiarului care defineşte procesele.

Paragrafele ce urmează prezintă criteriile de alegere precum şi procesul de proiectare a arhitecturii pentru ca proiectul să corespundă criteriilor de performanţă cerute clădirilor moderne din sectorul industrial şi terţiar (mai puţin obiectivele foarte mari).

# 2 Procesul simplificat de proiectare a arhitecturii



## 2.1 Proiectarea arhitecturii

Proiectarea arhitecturii considerate în această lucrare se referă la faza de proiect preliminar. Ea acoperă în general nivelurile de distribuție principală MT/JT, distribuție de putere JT și, în mod excepțional, nivelul de distribuție terminală (vezi **Fig. D2**)

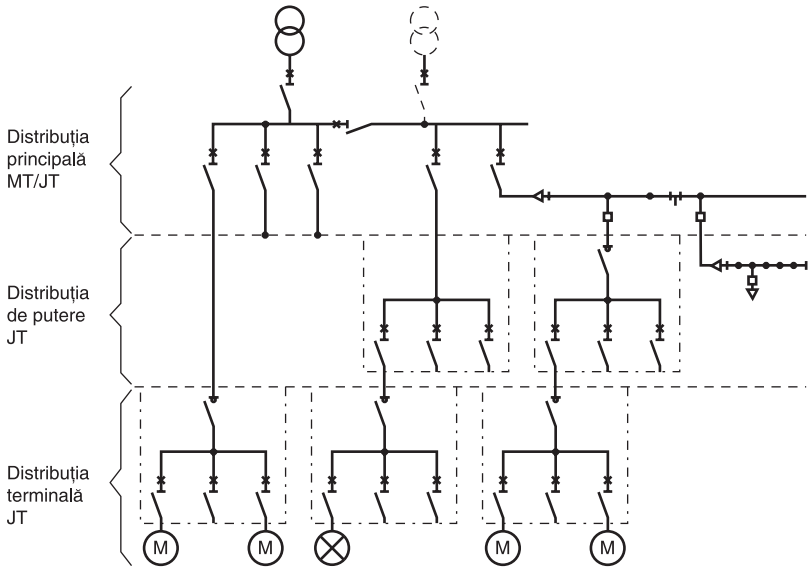



***Fig. D2:*** *Exemplu de schemă monofilară.*

Proiectarea unei arhitecturi de distribuție electrică poate fi descrisă ca un proces în trei etape cu posibilități de iterație. Acest proces trebuie să țină cont de caracteristicile și criteriile care trebuiesc îndeplinite pentru buna funcționare a instalației.

## 2.2 Întregul proces

Întregul proces este descris pe scurt în paragrafele următoare și ilustrat în **Fig. D3**. Procesul descris în acest document nu reprezintă singura soluție. Acest document reprezintă în fapt un ghid pentru uzul proiectanților de instalații electrice.

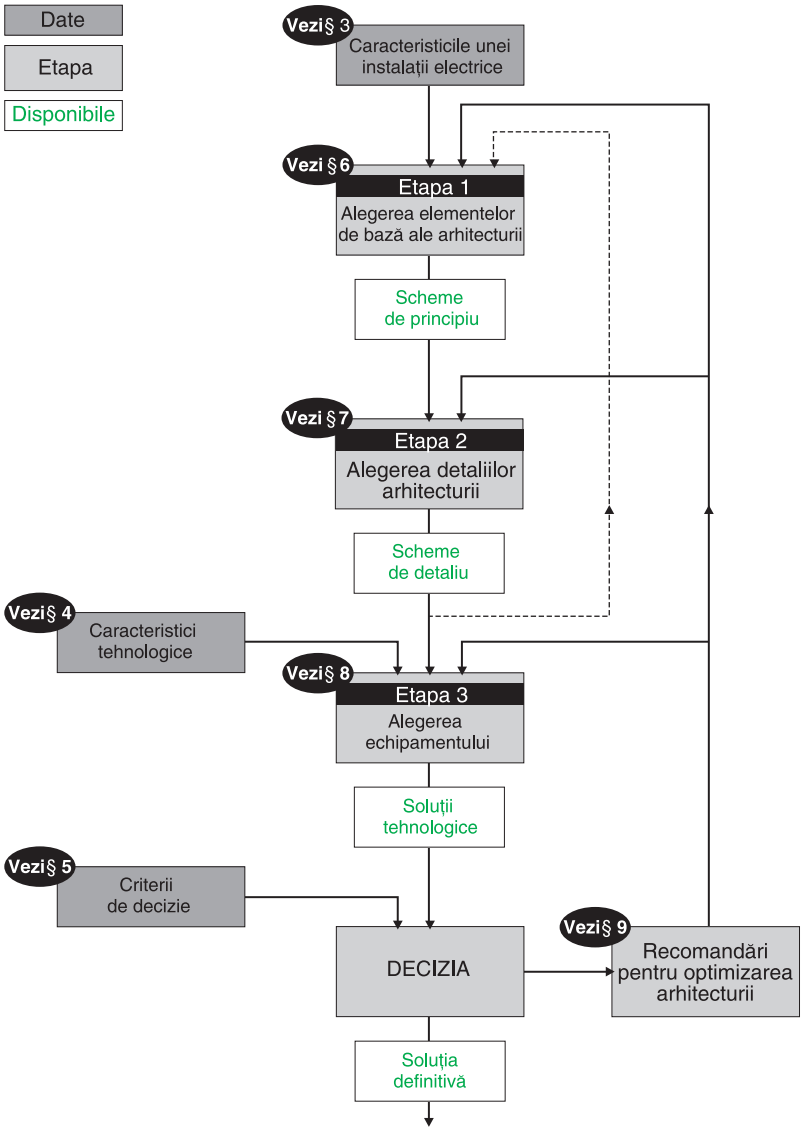



***Fig. D3:*** *Diagrama de alegere a arhitecturii de distribuție electrică.*

### Etapa 1: Alegerea elementelor de bază ale arhitecturii

Aceasta implică definirea caracteristicilor generale ale instalației electrice. Se vor lua în considerare caracteristicile macroscopice ale instalației și utilizarea sa.
Aceste caracteristici au implicații asupra conectării la rețeaua din amonte, asupra circuitelor MT, a numărului de posturi de transformare, etc.
La sfârșitul acestei etape vor exista câteva soluții de scheme de principiu de distribuție care vor fi utilizate ca punct de plecare pentru schemele monofilare.
Alegerea definitivă se confirmă la sfârșitul etapei 2.

# 2 Procesul simplificat de proiectare a arhitecturii



## Etapa 2: Alegerea detaliilor arhitecturii

Aceasta înseamnă definirea detaliată a instalației electrice. Se bazează pe rezultatele de la etapa 1 și de asemenea pe satisfacerea criteriilor referitoare la realizarea și funcționarea instalației.
Procesul revine la etapa 1 dacă criteriile nu sunt indeplinite. Procesul iterativ permite stabilirea unor combinații de criterii spre analiză.
La finalul acestei etape va fi stabilită schema monofilară detaliată.

## Etapa 3: Alegerea echipamentului

Alegerea echipamentului de utilizat se face în această etapă și rezultă din stabilirea arhitecturii. Alegerea echipamentului se face din cataloagele producătorilor avându-se în vedere satisfacerea anumitor criterii.
În acest stadiu se revine la etapa 2 dacă criteriile respective nu sunt satisfăcute.

## Decizia

Stadiul de decizie creează biroului de proiectare premizele unor discuții cu clientul sau cu alți participanți la realizarea proiectului.
În conformitate cu rezultatul acestor discuții se poate trece înapoi la etapa 1.

# 3 Caracteristicile unei instalații electrice

Sunt prezentate principalele caracteristici care permit definirea elementelor fundamentale și detaliilor unei arhitecturi de distribuție electrică. Pentru fiecare din aceste caracteristici se va prezenta definiția și diferite categorii sau valori reprezentative.

## 3.1 Activitate

### Definiție:

Activitatea economică principală de realizat.

### Lista indicativă pentru sectoarele considerate din cadrul clădirilor industriale:

- producție;
- food & beverage;
- logistică.

### Lista indicativă pentru sectoarele considerate din cadrul clădirilor terțiare:

- clădiri de birouri;
- hypermarket-uri;
- mall-uri.

## 3.2 Topologia amplasamentului

### Definiție:

Caracteristica arhitecturală a clădirilor, considerând numărul de clădiri, numărul de etaje și suprafața fiecărui etaj.

### Diferite categorii:

- clădire cu un etaj;
- clădire cu mai multe etaje;
- obiectiv cu mai multe clădiri;
- clădire înaltă.

## 3.3 Cerințe de amplasare

### Definiție:

Caracteristica ia în considerare cerințele legate de amplasarea echipamentelor electrice în clădire:

- estetică;
- accesibilitate;
- existența unor locații dedicate;
- utilizarea unor spații tehnice (pe etaj);
- utilizarea unor ghene tehnice (pe verticală).

### Diferite categorii:

- scăzută: amplasarea echipamentelor electrice este, virtual, impusă;
- medie: amplasarea echipamentelor electrice este parțial impusă, în detrimentul criteriilor de satisfăcut;
- ridicată: nu există constrângeri. Amplasarea echipamentelor electrice poate fi definită în scopul satisfacerii la maxim a criteriilor.

# 3 Caracteristicile unei instalații electrice



## 3.4 Siguranța în funcționare

### Definiție:

Capacitatea unui sistem de alimentare de a-și îndeplini funcția în condiții de siguranță pentru o perioadă specificată de timp.

### Diferite categorii:

- minim: acest nivel al siguranței în funcționare implică riscuri de întreruperi în alimentarea cu energie electrică datorită unor limitări de natură geografică (rețea separată, zonă îndepărtată de sursa de alimentare), tehnică (linie supraîncărcată, sistem de legare la pământ cu deficiențe) sau economică (întreținere insuficientă, subdimensionare);
- standard;
- ridicată: acest nivel al siguranței în funcționare poate fi obținut prin măsuri speciale luate pentru a se reduce probabilitatea unei întreruperi (rețea subterană, sistem corect de legare la pământ, etc.).

## 3.5 Mentenabilitatea

### Definiție:

Totalitatea elementelor de avut în vedere încă din faza de proiectare pentru a limita impactul operațiilor de întreținere asupra funcționării întregii instalații sau a unei părți din aceasta.

### Diferite categorii:

- minim: instalația trebuie scoasă din funcțiune pentru realizarea unor operații de întreținere;
- standard: operațiile de întreținere pot fi îndeplinite în timpul funcționării instalației dar cu performanțe diminuate. De preferabil ca aceste operații să se programeze astfel încât să se realizeze în perioadele de activitate redusă. Exemple: transformatoare cu redundanță parțială și sarcini distribuite;
- ridicată: prin măsuri speciale luate în considerare, operațiile de întreținere pot fi realizate fără perturbarea funcționării instalației. Exemple: configurație cu dublă alimentare.

## 3.6 Flexibilitatea instalației

### Definiție:

Posibilitatea de a modifica cu ușurință punctele de alimentare în interiorul instalației sau de a crește puterea furnizată în anumite puncte. Flexibilitatea este un criteriu care apare de asemenea în cazul unor proiecte având o parte din date necunoscute în faza de proiectare preliminară.

### Diferite categorii:

- fără flexibilitate: amplasarea consumatorilor este aceeași pe întreaga perioadă de viață a instalației datorită unor impuneri legate de construcția clădirii sau de masa mare a procesului alimentat (de exemplu: cuptoare electrice);
- flexibilitatea proiectului: numărul de puncte de alimentare, puterea consumatorilor sau amplasarea lor nu este cunoscută precis;
- flexibilitate în realizare: consumatorii pot fi instalați după ce instalația este pusă sub tensiune;
- flexibilitate în funcționare: amplasarea consumatorilor se modifică în cursul acțiunilor de reorganizare.

Exemple:
Clădiri industriale: extinderi, compartimentări sau schimbarea destinației.
Clădiri de birouri: compartimentări.

## 3.7 Puterea instalată

### Definiție:

Suma puterilor aparente ale consumatorilor (în kVA), căreia îi este aplicată un coeficient de utilizare.
Aceasta reprezintă puterea maximă care poate fi consumată la un moment de timp dat, cu posibilități de suprasarcină limitată de scurtă durată.
Gama de puteri semnificative corespunde puterilor nominale ale transformatoarelor, cele mai utilizate fiind:
- < 630 kVA;
- de la 630 kVA la 1250 kVA;
- de la 1250 kVA la 2500 kVA;
- > 2500 kVA.



## 3.8 Distribuția consumatorilor

### Definiție:

Caracteristică legată de uniformitatea distribuirii consumatorilor (în kVA/m$^2$) pe o suprafață în interiorul sau exteriorul clădirii.

### Diferite categorii:

- distribuție uniformă: consumatorii sunt în general de puteri medii sau mici și răspândiți pe suprafața clădirii (densitate uniformă). De exemplu: iluminat, locuri de muncă individuale;
- distribuție intermediară: consumatorii sunt de puteri medii amplasați grupat pe întreaga suprafață a clădirii. De exemplu: mașini de asamblat, benzi rulante, stații de lucru, module logistice;
- consumatori localizați: consumatorii sunt în general de puteri mari și sunt amplasați în câteva zone ale clădirii (densitate neuniformă). De exemplu: HVAC.

## 3.9 Sensibilitatea la întreruperea alimentării

### Definiție:

Caracteristica unui circuit de a accepta o întrerupere în alimentarea cu energie electrică.

### Diferite categorii:

- circuite comune: este posibil să fie întrerupte oricând și pentru orice durată de timp;
- acceptă întreruperi lungi: timp de întrerupere > 3 minute[(1)];
- acceptă întreruperi scurte: timp de întrerupere < 3 minute[(1)];
- nu acceptă întreruperi.

În funcție de posibilele consecințe se pot distinge diferite nivele de severitate în ceea ce privește întreruperile:
- fără consecințe notabile;
- pierderi de producție;
- deteriorarea unor utilități ale producției sau pierderi de date;
- generează pericol de moarte.

Aceasta este exprimată în termeni de criticitate din punct de vedere al alimentării cu energie electrică.
- circuite necritice: consumatorul sau circuitul respectiv poate fi eliminat oricând. De exemplu: circuitul de încălzire a apei la grupurile sanitare;
- circuite ușor critice: o întrerupere în alimentarea cu energie electrică determină un discomfort temporar pentru ocupanții clădirii, fără nici o consecință financiară. Prelungirea acestei întreruperi peste o durată critică poate cauza pierderi de producție sau productivitate mai mică. De exemplu: circuitele de încălzire, ventilație sau aer condiționat (HVAC);
- circuite mediu critice: o întrerupere în alimentarea cu energie electrică determină o scurtă pauză a procesului. Prelungirea acestei întreruperi peste o durată critică cauzează deteriorarea unor utilități ale producției sau costuri de repornire. De exemplu: unitățile de refrigerare, echipamente de ridicare;
- circuite critice: orice întrerupere în alimentarea cu energie electrică determină pericol mortal sau pierderi financiare inacceptabile. Exemple: săli de operații, departamente IT, departamente de securitate, etc.

***(1)*** *Valori indicate, din EN 50160: Caracteristici ale tensiunii de alimentare prin rețelele publice de distribuție.*

# 3 Caracteristicile unei instalații electrice



## 3.10 Sensibilitatea la perturbații

### Definiție:

Capacitatea unui circuit de a funcționa corect în prezența unei puteri electrice perturbatoare.
O perturbație poate conduce la diferite grade de disfuncționare. De exemplu: oprirea lucrului, lucru incorect, accelerarea îmbătrânirii, creșterea pierderilor, etc.
Tipuri de perturbații cu impact asupra funcționării circuitelor:
- arderea bornelor;
- supratensiuni;
- distorsiuni de tensiune;
- fluctuații de tensiune;
- dezechilibre de tensiune.

### Diferite categorii:

- sensibilitate slabă: perturbațiile tensiunii de alimentare au un efect foarte scăzut asupra funcționării circuitului. De exemplu: dispozitive de încălzire;
- sensibilitate medie: perturbațiile tensiunii cauzează deteriorarea notabilă a funcționării circuitului. De exemplu: motoare, iluminat;
- sensibilitate mare: perturbațiile tensiunii determină oprirea funcționării sau chiar deteriorarea echipamentului alimentat. De exemplu: echipamente IT.

Sensibilitatea circuitelor la perturbații determină proiectarea unor circuite dedicate. Într-adevăr, este mai bine să se separe consumatorii “sensibili” de consumatorii “perturbatori”. De exemplu: separarea circuitelor de iluminat de circuitele care alimentează motoare.
Această posibilitate depinde de asemenea de caracteristicile de funcționare. De exemplu: separarea sursei de alimentare a circuitelor de iluminat pentru a permite măsurări ale energiei consumate.

## 3.11 Capacitatea circuitelor de a genera perturbații

Capacitatea unui circuit de a perturba funcționarea circuitelor învecinate datorită unor fenomene precum: armonici, curenți de pornire, dezechilibre, curenți de înaltă frecvență, radiații electromagnetice, etc.

### Diferite categorii:

- neperturbatoare: nu există precauții speciale;
- moderat sau ocazional perturbatoare: separarea surselor de alimentare poate fi necesară în prezența unor circuite de sensibilitate medie sau mare. De exemplu: circuit de iluminat generator de curenți armonici;
- foarte perturbatoare: un circuit de putere dedicat sau modalități de atenuare a perturbațiilor sunt esențiale pentru corecta funcționare a instalației. De exemplu: motor electric având curenți mari de pornire, echipamente de sudură având fluctuații de curent.

## 3.12 Alte considerații și limitări

- Mediu

De exemplu: clasificarea descărcărilor atmosferice, expunere solară;
- Reguli specifice

De exemplu: spitale, clădiri înalte, etc;
- Reguli ale furnizorului de electricitate

De exemplu: limitări de puteri la JT, acces în posturile de transformare de MT, etc;
- Consumatori adiacenți

De exemplu: consumatori alimentați de la 2 circuite independente din motive de redundanță;
- Experiența proiectantului

De exemplu: consecvența cu proiectele anterioare, sau utilizări parțiale ale proiectelor anterioare, tipizarea unor subansamble, existența unei baze de echipament instalat;
- Limitări ale sursei de alimentare

De exemplu: nivele de tensiune (230 V, 400 V, 690 V), sistemul de tensiune (monofazat, trifazat cu sau fără neutru accesibil).

# 4 Caracteristici tehnologice

Soluțiile tehnologice depind de diferitele tipuri de echipamente de MT și JT, precum și de sistemele de bare capsulate.
Alegerea soluțiilor tehnologice se face după alegerea schemei monofilare și ținând cont de caracteristicile de mai jos.

## 4.1 Mediu, atmosferă

O noțiune care ține cont de toate caracteristicile de mediu (temperatură medie, ambianță, altitudine, umiditate, coroziune, praf, impact, etc.) și care determină gradele de protecție IP și IK.

### Diferite categorii:

- standard: nu există condiții particulare de mediu;
- ridicate: condiții de mediu severe, parametri severi de mediu generează limitări importante pentru echipamentele instalate;
- specifice: condiții de mediu atipice, cerințe speciale.



## 4.2 Indicele de serviciu

Indicele de serviciu (IS) este o valoare care permite caracterizarea unui tablou electric de joasă tensiune, în conformitate cu cerințele utilizatorului, în termeni de funcționare, mentenanță și evolutivitate.
Valorile indicelui de serviciu sunt indicate în tabelul de mai jos (vezi **Tab. D4**):

| | Funcționare | Mentenanță | Evolutivitate |
|---|---|---|---|
| Nivel 1 | IS = 1 • •<br>Activitatea poate conduce la întreruperea funcționării tabloului | IS = • 1 •<br>Activitatea poate conduce la întreruperea funcționării tabloului | IS = • • 1<br>Activitatea poate conduce la întreruperea funcționării tabloului |
| Nivel 2 | IS = 2 • •<br>Activitatea poate conduce la întreruperea funcționarii numai pentru unitatea funcțională | IS = • 2 •<br>Activitatea poate conduce la întreruperea funcționării unității funcționale, cu intervenții asupra conexiunilor | IS = • • 2<br>Activitatea poate conduce la întreruperea funcționării unității funcționale, în condițiile existenței unor unități funcționale de rezervă |
| Nivel 3 | IS = 3 • •<br>Activitatea poate conduce la scoaterea de sub tensiune a unității funcționale | IS = • 3 •<br>Activitatea poate conduce la întreruperea funcționării unității funcționale, fără intervenții asupra conexiunilor | IS = • • 3<br>Activitatea poate conduce la întreruperea funcționării numai pentru unitatea funcțională, cu libertate totală în ceea ce privește evolutivitatea. |

***Tab. D4:*** *Diferite valori ale indicelui de serviciu.*

- exemplu de activitate de exploatare: deschiderea unui întreruptor, întreruperea funcționării unei mașini;
- exemplu de activitate de mentenanță: strângerea conexiunilor;
- exemplu de activitate de evoluție: conectarea unei plecări suplimentare.

# 4 Caracteristici tehnologice



Există un număr limitat de indici de servicii relevanți (vezi **Tab. D5**).

| IS | Funcționare | Mentenanță | Evolutivitate |
|---|---|---|---|
| 1 1 1 | Scoaterea de sub tensiune a întregului tablou | Timp de lucru > 1 oră, cu întrerupere totală | Extinderi neplanificate |
| 2 1 1 | Scoaterea de sub tensiune, individual, a unităților funcționale și repunerea în funcțiune < 1 oră | | |
| 2 2 3 | | Timp de lucru între 1/4 oră și 1 oră cu intervenție asupra conexiunilor | Posibila adăugare a unor unități funcționale suplimentare fără oprirea funcționării tabloului |
| 2 3 2 | | Timp de lucru între 1/4 oră și 1 oră fără intervenție asupra conexiunilor | Posibila adăugare a unor unități funcționale suplimentare cu oprirea funcționării tabloului |
| 2 3 3 | | | Posibila adăugare a unor unități funcționale suplimentare fără oprirea funcționării tabloului |
| 3 3 2 | Scoaterea de sub tensiune, individual, a unităților funcționale și repunerea în funcțiune < 1/4 oră | | Posibila adăugare a unor unități funcționale suplimentare cu oprirea funcționării tabloului |
| 3 3 3 | | | Posibila adăugare a unor unități funcționale suplimentare fără oprirea funcționării tabloului |

***Tab. D5:*** *Indici de serviciu relevanți (IS).*

Corespondența între indicele de serviciu și alți parametri mecanici (vezi **Tab. D6**).

| Indicele de serviciu IS | Indicele de protecție IP | Forma de protecție a tabloului | Debroșabilitatea unității funcționale | Debroșabilitatea aparatului |
|---|---|---|---|---|
| 1 1 1 | 2 X X | 1 | F F F | Fix |
| 2 1 1 | 2 X B | 1 | F F F | Fix |
| 2 2 3 | 2 X B | 3b | W F D | Fix |
| 2 3 2 | 2 X B | 3b | W F W | Debroșabil pe soclu |
| 2 3 3 | 2 X B | 3b | W F D | Fix |
| 3 3 2 | 2 X B | 3b | W W W | Debroșabil pe șasiu |
| 3 3 3 | 2 X B | 3b | W W W | Debroșabil pe șasiu |

***Tab. D6*** *Corespondența între indicele de serviciu și alți parametri mecanici.*

- definiția indicelui de protecție: a se vedea CEI 60529: “Grade de protecție pentru dulapuri (codul IP)”;
- definițiile formei tabloului și a noțiunii de “debroșabil”: a se vedea CEI 60439-1: “Ansambluri de aparataj de JT. Ansamblu prefabricat de aparataj de JT și ansamblu derivat dintr-un ansamblu prefabricat de aparataj de JT”.

## 4.3 Alte considerații

Alte considerații au de asemenea un impact asupra alegerii soluțiilor tehnologice:
- experiența proiectantului;
- consecvența cu proiectele anterioare;
- utilizări parțiale ale proiectelor anterioare;
- tipizarea unor subansamble;
- existența unui baze instalate de echipamente;
- cerințele furnizorului de electricitate;
- criterii tehnice: factor de putere cerut, alimentări de rezervă, prezența armonicilor.

Aceste considerente trebuie luate în seamă în etapa de definire detaliată a proiectului, fază care urmează celei de concepție.

# 5 Criterii de decizie a arhitecturii

Anumite criterii decisive sunt verificate la sfârșitul etapei a treia de alegere a arhitecturii, pentru a valida arhitectura aleasă. Aceste criterii sunt prezentate în continuare, cu alocarea a diferite niveluri de prioritate.

## 5.1 Timpul de execuție

Timpul de realizare pe șantier a instalației electrice.

### Diferite niveluri de prioritate :

- secundar: timpul de execuție pe șantier poate fi mărit, dacă aceasta conduce la scăderea costurilor totale de execuție;
- special: timpul de execuție pe șantier trebuie redus, fără a genera extracosturi;
- critic: timpul de execuție pe șantier trebuie redus cât se poate de mult, chiar dacă aceasta conduce la costuri suplimentare.



## 5.2 Impactul asupra mediului

Trebuiesc luate în considerare cerințele de mediu în proiectul de instalații. Aceasta se referă la consumul de resurse naturale, pierderile Joule (emisiile de $CO_2$), procentul de reciclare la sfârșitul duratei de viață a instalației.

### Diferite niveluri de prioritate:

- nesemnificativ: nu există cerințe de mediu speciale;
- minimal: instalația este proiectată în conformitate cu cerințele minimale;
- proactiv: instalația este proiectată acordându-se atenție deosebită pentru protecția mediului. Extracosturile sunt permise în acest caz. De exemplu: utilizarea transformatoarelor cu pierderi reduse.

Impactul unei instalații electrice asupra mediului poate fi determinat în conformitate cu metoda de analiză a duratei de viață a instalației, la care se disting 3 faze:

- realizare;
- funcționare;
- sfârșitul vieții (dezafectare, reciclare).

În ceea ce privește impactul asupra mediului, pot fi luați în considerare cel puțin 3 indicatori care pot fi influențați de proiectarea unei instalații electrice. Deși fiecare fază din cadrul duratei de viață contribuie la cei trei indicatori, fiecare dintre aceștia se referă în principal la o singură fază în particular:

- consumul de resurse naturale are impact, în primul rând, asupra fazei de realizare;
- consumul de energie electrică are impact asupra fazei de funcționare;
- potențialul de reciclare are impact la sfârșitul duratei de viață.

Tabelul următor detaliază factorii care contribuie la cei trei indicatori de mediu (vezi **Tab. D7**).

| Indicatori | Factor de contribuție |
|---|---|
| Consumul de resurse naturale | Cantitatea și tipul de material utilizat |
| Consumul de energie electrică | Pierderile Joule la sarcină nominală și în gol |
| Potențialul de reciclare | Masa și tipul de material utilizat |

***Tab D7:*** *Factorii care contribuie la cei trei indicatori de mediu.*

## 5.3 Nivelul mentenanței preventive

### Definiție:

Numărul de ore și complexitatea mentenanței realizate în timpul funcționării în conformitate cu recomandările producătorilor pentru asigurarea funcționării corespunzătoare a instalației și a menținerii nivelurilor sale de performanță (evitarea întreruperilor, declanșărilor, etc.).

### Diferite categorii:

- standard: în conformitate cu recomandările producătorilor;
- suplimentare: în conformitate cu recomandările producătorilor, în mediu sever;
- specifice: plan specific de mentenanță, cuprinzând cerințe ridicate în ceea ce privește continuitatea serviciilor și o competență sporită a personalului de întreținere.



## 5.4 Disponibilitatea alimentării cu energie electrică

### Definiție:

Reprezintă probabilitatea ca o instalație electrică să fie capabilă să furnizeze energie de calitate în conformitate cu specificațiile echipamentului pe care îl alimentează. Aceasta se exprimă prin nivelul de disponibilitate:

**Disponibilitate (%) = (1 - MTTR/MTBF) x 100**

**MTTR** (Mean Time To Repair, Media Timpului unei Reparații): durata medie de timp pentru a face instalația electrică funcțională, în urma unei întreruperi (aceasta include detectarea cauzei întreruperii, înlăturarea sa și repunerea în funcțiune)
**MTBF** (Mean Time Between Failure, Media Timpului de Bună Funcționare): durata medie de timp în care instalația electrică este operațională și, prin urmare permite funcționarea corectă a echipamentului.

Diferite categorii de disponibilitate pot fi definite pentru un anume tip de instalație. Exemplu: spitale, centre de prelucrare date.

**Exemple de clasificări utilizate pentru centrele de prelucrare date:**
Ex. 1: sursa de alimentare și aerul condiționat sunt furnizate de pe un singur canal, fără redundanță, ceea ce permite o disponibilitate de 99,671 %,
Ex. 2: sursa de alimentare și aerul condiționat sunt furnizate de pe un singur canal, cu redundanță, ceea ce permite o disponibilitate de 99,741 %,
Ex. 3: sursa de alimentare și aerul condiționat sunt furnizate de mai multe canale, cu un singur canal redundant, ceea ce permite o disponibilitate de 99,982 %,
Ex. 4: sursa de alimentare și aerul condiționat sunt furnizate de mai multe canale, cu redundanță, ceea ce permite o disponibilitate de 99,995 %.

# 6 Alegerea elementelor de bază ale arhitecturii

Schema monofilară poate fi împărțită în câteva părți cheie care sunt determinate printr-un proces cu două etape succesive. În prima parte vom face următoarele alegeri:
- conectarea la rețeaua furnizorului;
- definirea circuitelor de MT;
- numărul de transformatoare de putere;
- numărul și amplasarea posturilor de transformare;
- generatoarele de rezervă de MT.

## 6.1 Racordarea la rețeaua amonte

Principalele configurații pentru posibile conexiuni sunt următoarele (vezi **Fig. D8** pentru racordarea la MT):
- racordarea la JT;
- racordarea la MT în vârf;
- racordarea la MT în buclă;
- racordarea la MT dublă alimentare;
- racordarea la MT dublă alimentare pe dublu sistem de bare.

Masura, protecția, dispozitivele de separare localizate în postul de transformare nu sunt reprezentate în următoarele diagrame. De obicei ele sunt specifice fiecărui furnizor de energie și nu au influență asupra alegerii arhitecturii instalației. Pentru fiecare racord este simbolizat un singur transformator pentru simplificare dar în realitate pot fi conectate câteva transformatoare.
(TGJT - Tablou general de joasă tensiune)



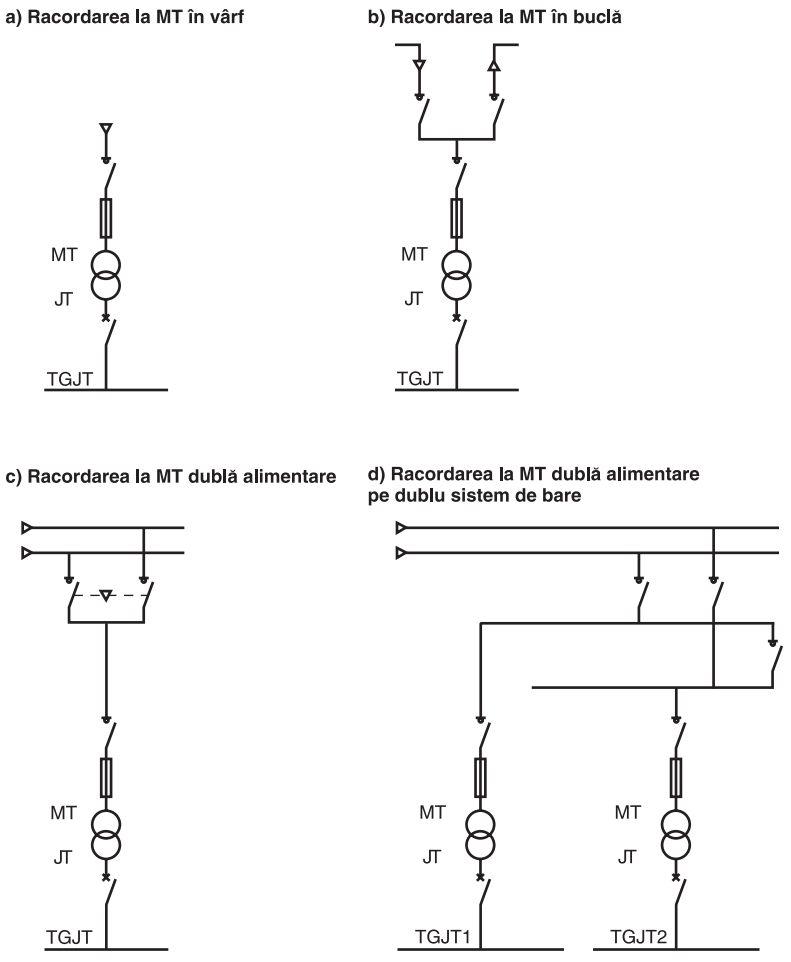



*Fig. D8: Racordarea pe MT la rețeaua furnizorului.*

# 6 Alegerea elementelor de bază ale arhitecturii



Pentru diferite posibile configurații cel mai probabil și mai uzual set de caracteristici este dat în următorul tabel:

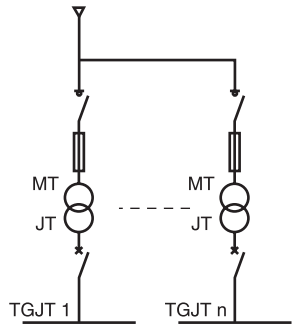
| | Configurație | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | JT | MT | | | |
| **Caracteristici de luat în considerare** | | **Alimentare în vârf** | **Alimentare în buclă** | **Dublă alimentare** | **Dublă alimentare pe dublu sistem de bare** |
| Alimentare | Oricare | Oricare | Oricare | Instalații tehnologice, birouri sensibile, sănătate | Oricare |
| Topologia obiectivului | O singură clădire | O singură clădire | O singură clădire | O singură clădire | Mai multe clădiri |
| Siguranța în serviciu | Minimă | Minimă | Standard | Îmbunătățită | Îmbunătățită |
| Puterea cerută | < 630kVA | ⩽ 1250kVA | ⩽ 2500kVA | > 2500kVA | > 2500kVA |
| Alte cerințe | Oricare | Obiectiv izolat | Zonă urbană cu densitate mică | Zonă urbană cu densitate mare | Zonă urbană cu limitări ale furnizorului |

## 6.2 Configurația circuitelor de MT

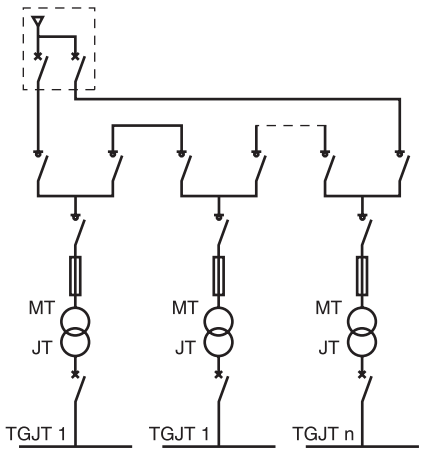
Principalele configurații posibile pentru racordări sunt următoarele (vezi **Fig. D9**):
- o singură alimentare, unul sau mai multe transformatoare;
- inel deschis, o singură alimentare MT;
- inel deschis, două alimentari MT.

Configurația cea mai simplă este o singură alimentare, cu un singur transformator. În cazul utilizării mai multor transformatoare nu este realizat nici un inel decât dacă aceste transformatoare se află amplasate în același post de transformare. Configurația de tip buclă inchisă nu este luată în considerare.

**a) O singură alimentare**




**b) Inel deschis, un post de transformare**




**c) Inel deschis, două posturi de transformare**

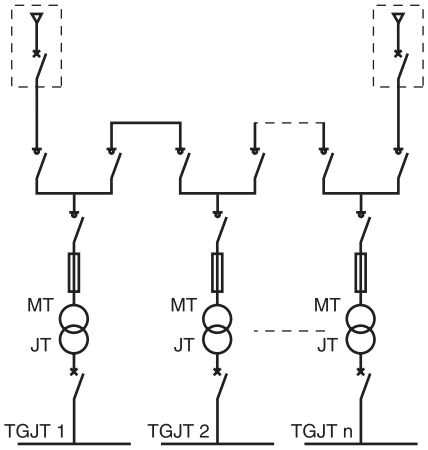



*Fig. D9: Configurații de circuite MT.*

Pentru diferite configurații posibile cel mai probabil și mai uzual set de caracteristici este dat în tabelul din **Tab. D10**:

| | Configurația circuitelor MT | | |
|---|---|---|---|
| **Caracteristici de luat în considerare** | **O singură alimentare** | **Inel deschis, un post de transformare** | **Inel deschis, două posturi de transformare** |
| Topologia obiectivului | Oricare < 25000 m$^2$ | Clădire cu un nivel sau câteva clădiri, < 25000 m$^2$ | Câteva clădiri, > 25000 m$^2$ |
| Mentenabilitate | Minimă sau standard | Îmbunătățită | Îmbunătățită |
| Puterea cerută | Oricare | > 1250 kVA | > 2500 kVA |
| Sensibilitatea la perturbații | Întreruperi lungi acceptabile | Întreruperi scurte acceptabile | Întreruperi scurte acceptabile |

*Tab. D10: Seturi de caracteristici pentru instalații uzuale.*

O altă configurație excepțională: alimentarea se face din două posturi de transformare și racordarea transformatoarelor se face la fiecare din aceste două posturi de transformare.

## 6.3 Numărul și amplasarea posturilor de transformare MT/JT

Principalele caracteristici ce trebuiesc luate în considerare pentru a defini posturile de transformare sunt:
- suprafața clădirii sau a obiectivului;
- puterea cerută (care trebuie comparată cu puterile standardizate ale transformatoarelor);
- distribuția sarcinilor.

Configurația de bază uzuală conține un singur post de transformare. Anumiți factori contribuie la creșterea numărului de posturi de transformare (>1):
- o suprafață mare (> 25000 m$^2$);
- configurația obiectivului: câteva clădiri;
- puterea totală (> 2500 kVA);
- sensibilitatea la întreruperi; nevoia de redundanță în caz de incendiu.

| | Configurație | | |
|---|---|---|---|
| **Caracteristici de luat în considerare** | **1 post de transformare cu N transformatoare** | **N posturi de transformare cu N transformatoare (identice)** | **N posturi de transformare cu M transformatoare (diferite puteri)** |
| Topologia obiectivului | Oricare < 25000 m$^2$ | Clădire cu un nivel sau câteva clădiri, ⩾ 25000 m$^2$ | Câteva clădiri, ⩾ 25000 m$^2$ |
| Puterea cerută | < 2500 kVA | ⩾ 2500 kVA | ⩾ 2500 kVA |
| Distribuția sarcinilor | Sarcini izolate | Sarcini uniform distribuite | Sarcini densitate medie |

*Tab. D11: Caracteristici tipice ale diferitelor configurații.*

# 6 Alegerea elementelor de bază ale arhitecturii



## 6.4 Numărul transformatoarelor MT/JT

Principalele caracteristici ce trebuiesc luate în considerare pentru a stabili numărul de transformatoare sunt:
- suprafața clădirii sau obiectivului;
- puterea totală a sarcinilor instalate;
- sensibilitatea circuitelor la întreruperi ale alimentării cu energie;
- sensibilitatea circuitelor la perturbații;
- accesibilitatea instalațiilor.

Configurația de bază uzuală constă într-un singur transformator care alimentează totalitatea sarcinilor instalate. Anumiți factori contribuie la creșterea numărului de transformatoare (> 1), fiind de preferat cele de putere egală:
- o putere totală instalată mare (> 1250 kVA): limita practică a unei unități trafo (standardizare, ușurință la înlocuire, cerințe de spațiu, etc.);
- o suprafață mare (> 5000 $m^2$); amplasarea mai multor transformatoare aproape de sarcinile distribuite permite reducerea lungimii traseelor de distribuție de JT;
- nevoia pentru o redundanță parțială (anumite operații posibile în eventualitatea defectării unui transformator) sau totală (operare normală și în eventualitatea defectării unui transformator);
- separarea sarcinilor sensibile sau generatoare de perturbații (de exemplu aparate IT sau motoare).

## 6.5 Generatoare de rezervă de MT

Principalele caracteristici ce trebuiesc luate în considerare pentru a decide instalarea generatoarelor de rezervă de MT sunt:
- specificul activității;
- puterea totală a sarcinilor instalate;
- sensibilitatea circuitelor la întreruperile în alimentarea cu energie electrică;
- caracteristicile rețelei electrice de distribuție publică.

Configurația de bază uzuală nu include un generator de rezervă de MT. Anumiți factori impun instalarea unui generator de MT:
- specificul activității: procese de cogenerare, optimizarea consumului de energie electrică;
- rețeaua electrică de distribuție publică are performanțe reduse.

Instalarea unui generator de rezervă se poate face și la joasă tensiune.

# 7 Alegerea detaliilor arhitecturii

Aceasta este cea de-a doua etapă de proiectare a unei instalații electrice. În cadrul acesteia trebuie să facem următoarele alegeri:
- planul general;
- distribuția centralizată sau descentralizată;
- prezența generatoarelor de rezervă;
- prezența surselor neîntreruptibile;
- configurația circuitelor de JT;
- combinații de arhitectură.

## 7.1 Planul general

Poziționarea principalelor echipamente de MT și de JT în teren sau în clădire.

### Ghid de selecție:

- pe cât posibil amplasați sursele de putere cât mai aproape de centrul de greutate al consumului sau de consumatorii principali;
- reduceți constrângerile datorate mediului: prevedeți clădire dedicată dacă condițiile din ateliere sunt prea restrictive (temperatură, vibrații, praf, etc.);
- plasați echipamentul greu (transformatoare, generatoare, etc.) în marginile încăperilor sau aproape de ieșiri pentru ușurarea mentenanței.

Un exemplu de plan general este dat în desenul de mai jos (vezi **Fig. D12**):

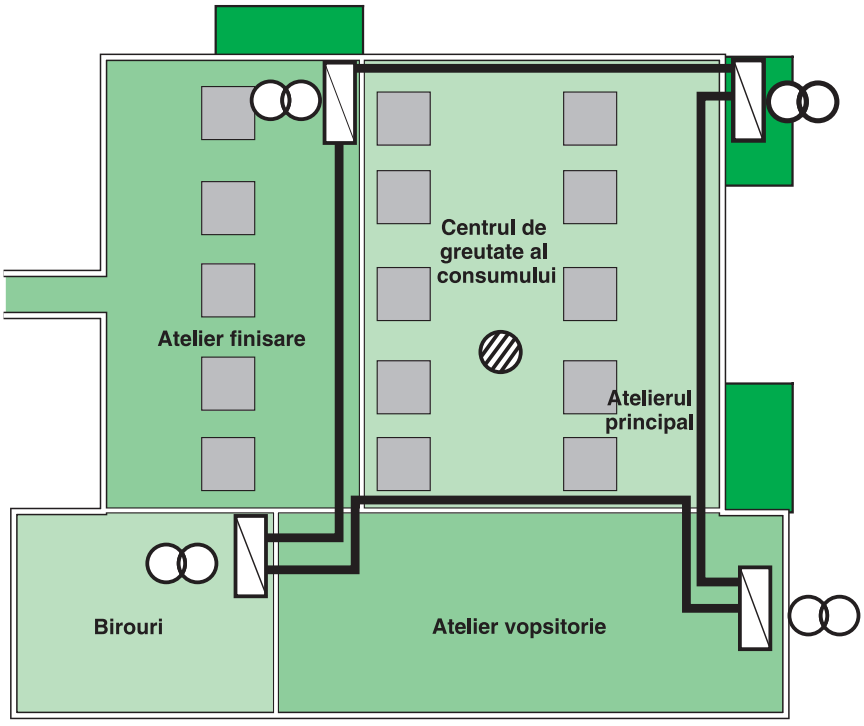



*Fig. D12: Poziția centrului de greutate al consumului sugerează pozițiile surselor de putere.*

## 7.2 Arhitectura centralizată sau distribuită

În arhitectura centralizată consumatorii sunt conectați la sursele de putere prin conexiuni radiale. Cablurile sunt recomandate în cazul alegerii acestei soluții, asigurând conexiunile între tabloul general de joasă tensiune și tablourile intermediare sau direct la consumatori (vezi **Fig. D13**):

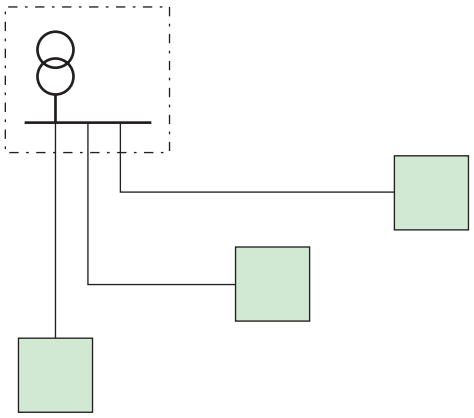


*Fig. D13: Exemplu de arhitectură centralizată cu conexiuni punct la punct.*

În arhitectura distribuită consumatorii sunt conectați la sursele de putere prin intermediul unei bare capsulate. Sistemele de bare capsulate prefabricate sunt adecvate pentru distribuția descentralizată, pentru alimentarea mai multor sarcini distribuite, ușurând modificările ulterioare și simplificând adăugarea de noi consumatori (vezi **Fig. D14**):

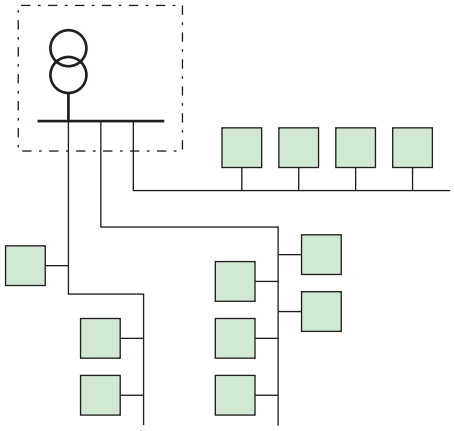


*Fig. D14: Exemplu de arhitectură distribuită cu conexiuni prin bare capsulate prefabricate.*

Considerații în favoarea arhitecturii centralizate (vezi tabelul centralizator **Tab. D15**):
- flexibilitatea instalației: nu;
- distribuția sarcinilor: sarcini punctuale (echipamente de putere mare).

Considerații în favoarea arhitecturii descentralizate:
- flexibilitatea instalației: da, în special la reamplasarea punctelor de lucru, etc.;
- distribuția sarcinilor: sarcini relativ uniform distribuite de putere mică.

<table>
<tr><th></th><th colspan="3">Distribuția sarcinilor</th></tr>
<tr><th>Flexibilitate</th><th>Sarcini punctuale</th><th>Sarcini semi distribuite</th><th>Sarcini uniform distribuite</th></tr>
<tr><td>Fără flexibilitate</td><td colspan="2" rowspan="2">Centralizată</td><td rowspan="2">Descentralizată</td></tr>
<tr><td>Flexibilitate în proiectare</td></tr>
<tr><td>Flexibilitate în executie</td><td rowspan="2">Centralizată</td><td colspan="2" rowspan="2">Descentralizată</td></tr>
<tr><td>Flexibilitate în exploatare</td></tr>
</table>

*Tab. D15: Recomandări pentru arhitectura centralizată sau descentralizată.*



Alimentarea cu energie electrică prin cabluri oferă independența circuitelor distincte (iluminat, prize de putere, HVAC, motoare, auxiliare, securitate, etc.), reducând consecințele unui defect din punctul de vedere al disponibilității energiei electrice. Utilizarea sistemelor de bare capsulate permite combinarea circuitelor și economia de conductor datorită coeficientului de utilizare. Alegerea între cabluri și sistemele de bare capsulate prefabricate, în funcție de coeficientul de utilizare ne permite găsirea unui optim economic între costul materialului, costul montajului, și costul exploatării. Cele două arhitecturi sunt adesea combinate.

## Prezența generatoarelor de rezervă (vezi Fig. D16)

Vom discuta aici numai de generatoarele de rezervă de JT.
Energia electrică furnizată de un generator de rezervă de JT este produsă de un alternator rotit de un motor termic. Energia nu poate fi produsă până când generatorul nu a atins viteza de rotație nominală. Acest tip de dispozitiv nu este deci potrivit ca și sursa de alimentare neîntreruptibilă.
În funcție de capacitatea generatorului de a alimenta cu energie electrică toată instalația sau numai o parte avem de-a face cu redundanță totală sau parțială.
Un generator de rezervă funcționează în general deconectat de la rețea. Un dispozitiv de inversare a sursei este deci necesar.
Generatorul poate funcționa permanent sau intermitent; timpul său de funcționare este dependent de cantitatea de combustibil disponibilă.

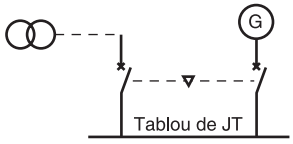



*Fig. D16: Racordarea unui generator de rezervă.*

Principalele caracteristici ce trebuiesc luate în considerare la alegerea montajului unui generator de rezervă:
- sensibilitatea sarcinilor la întreruperea alimentării cu energie electrică;
- existența și performanțele rețelei electrice de distribuție publică;
- alte constrângeri (de exemplu generatoarele sunt obligatorii în spitale sau în clădiri importante).

Prezența generatoarelor de rezervă este esențială dacă sarcinile nu acceptă întreruperi pe durată nedefinită (acceptă numai scurte întreruperi) sau dacă disponibilitatea rețelei electrice de distribuție publică este scăzută.
Pentru determinarea numărului necesar de generatoare de rezervă se vor folosi aceleași criterii ca și la alegerea numărului de transformatoare, ținând cont și de considerațiile economice și de disponibilitate (redundanță, siguranța pornirii, mentenanță).

## 7.3 Prezența surselor de alimentare neîntreruptibile (UPS, Uninterruptible Power Suply)

Energia electrică de la un UPS este furnizată de o unitate de stocare: baterie sau volant inerțial. Acest sistem permite prevenirea oricărei întreruperi în alimentarea cu energie electrică. Timpul de asigurare a alimentării este limitat: de la câteva minute până la câteva ore.
Prezența simultană a generatoarelor de rezervă și a unităților UPS este utilizată pentru alimentarea permanentă a receptoarelor pentru care întreruperea alimentării cu energie electrică nu este acceptabilă (vezi **Fig. D17**). Timpul de asigurare a alimentării al bateriei sau volantului inerțial trebuie să fie compatibil cu timpul maxim de pornire și de conectare al generatorului.
O unitate UPS poate fi utilizată de asemenea pentru alimentarea cu energie a sarcinilor sensibile la perturbații (generând o tensiune "curată" care este independentă de rețea).
Principalele caracteristici care trebuiesc luate în considerare la decizia instalării unui UPS sunt:
- sensibilitatea receptoarelor la întreruperile în alimentarea cu energie;
- sensibilitatea receptoarelor la perturbații în calitatea energiei.

Dacă o întrerupere în alimentarea cu energie este absolut inacceptabilă, atunci prezența UPS-urilor este necesară.

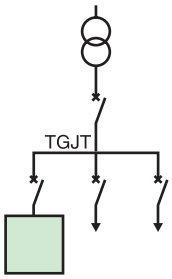



*Fig. D18: Configurație cu un transformator care debitează pe o bară.*

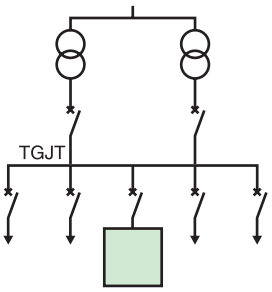



*Fig. D19: Configurație cu două transformatoare care debitează pe aceeași bară.*

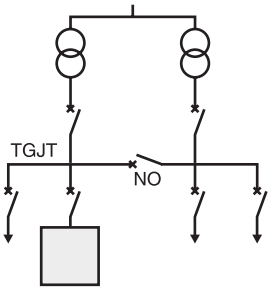



*Fig. D20: Configurație cu două transformatoare care debitează pe două bare interconectate cu o cuplă normal deschisă.*

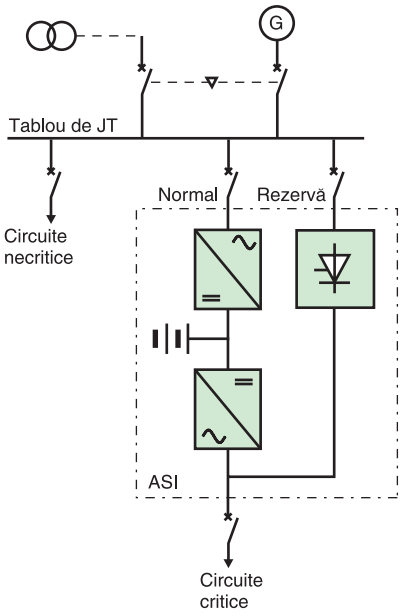



*Fig. D17: Exemplu de racordare pentru un UPS.*

## 7.4 Configurația circuitelor de JT

Principalele configurații posibile (vezi **Fig. D18** la **Fig. D25**):
- **Configurație cu un transformator care debitează pe o bară:** Aceasta este cea mai simplă și mai folosită configuratie. O sarcină este conectată la o singură sursă. Această configurație furnizează un nivel de disponibilitate minimă, deoarece nu există nici o redundanță în cazul defectării sursei de putere.
- **Configurație cu două transformatoare care debitează pe aceeași bară:** Alimentarea cu energie electrică este asigurată de două transformatoare alimentate din aceeași linie de medie tensiune. Atunci când transformatoarele sunt apropiate ele debitează în paralel în același TGJT.
- **Variantă:** Configurație cu două transformatoare care debitează pe două bare interconectate cu o cuplă normal deschisă. Pentru a crește disponibilitatea în cazul unui defect pe bară, precum și pentru a permite mentenanța unui transformator este posibil să secționam bara de medie tensiune în două părți interconectate printr-o cuplă normal deschisă. Această configurație poate solicita un dispozitiv de anclanșare automată a rezervei (ATS, Automatic Transfer Switch).
- **Tablouri secundare:** Conțin o serie de circuite care pot fi conectate la TGJT. Conexiunea poate fi întreruptă la nevoie (suprasarcină, funcționare pe generator, etc.).

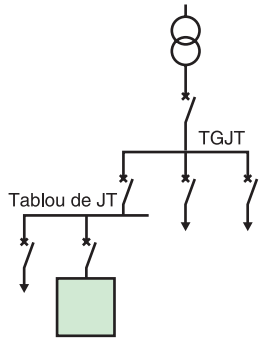



*Fig. D21: Tablouri secundare.*

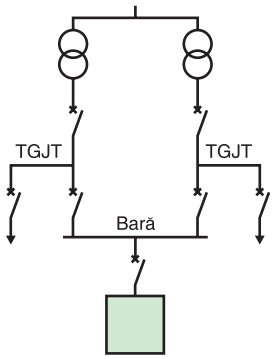



*Fig. D22: Tablouri interconectate.*

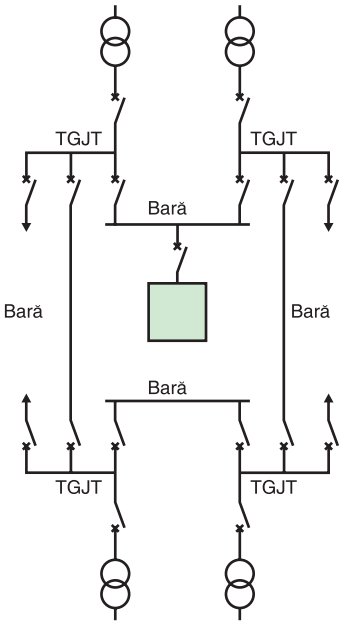



*Fig. D23: Tablouri buclate.*

■ **Dulapuri interconectate:** Dacă transformatoarele sunt amplasate din punct de vedere fizic la distanță unul față de celălalt, ele pot fi interconectate printr-o bară capsulată prefabricată. În acest fel o sarcină critică poate fi alimentată de un transformator sau de celălalt, disponibilitatea energiei electrice fiind deci îmbunătățită în cazul defectării unei surse. Redundanța poate fi:
☐ totală: fiecare transformator este capabil să alimenteze întreaga instalație;
☐ parțială: fiecare transformator este capabil să alimenteze numai o parte din instalație. În acest caz o parte din consumatori trebuiesc deconectați în cazul în care un transformator se defectează.

■ **Configurație buclată (în inel):** Aceasta poate fi considerată o extensie a configurațiilor cu tablouri interconectate. De obicei patru transformatoare conectate la aceeași linie de medie tensiune alimentează un inel constituit din bare capsulate. Astfel o sarcină dată poate fi alimentată din mai multe surse. Această configurație este potrivită instalațiilor extinse cu o mare densitate a sarcinilor (în kVA/m$^2$). Dacă toate receptoarele pot fi alimentate din trei transformatoare atunci există redundanță totală în cazul defectării unui singur transformator. De fapt fiecare bară poate fi alimentată cu energie electrică pe la unul din capete. În caz contrar trebuie luată în considerare o descărcare a sarcinii (consumatorii neesențiali). Această configurație solicită proiectarea unui plan al protecțiilor dedicat pentru a se asigura selectivitatea în cazul apariției oricărui tip de defect.

■ **Configurație cu două surse:** Această configurație este utilizată în cazul în care este necesară o disponibilitate maximă. Principiul implică existența a două surse independente cum ar fi:
☐ două transformatoare alimentate din linii de MT diferite;
☐ un transformator și un generator;
☐ un transformator și un UPS.
Un dispozitiv AAR de anclanșare automată a rezervei (ATS, Automatic Transfer Switch) este utilizat pentru a se evita punerea în paralel a surselor. Această configurație permite efectuarea mentenanței preventive și corective în amontele rețelei de distribuție electrică fără întreruperea receptoarelor.

■ **Configurații combinate:** O instalație poate fi compusă din câteva subansambluri cu configurații diferite corespunzând cerințelor de disponibilitate pentru diferite tipuri de receptoare. De exemplu generatoare sau UPS-uri, alese pentru diferite secții de bară; anumite sectoare alimentate prin cabluri și anumite sectoare alimentate prin bare capsulate.

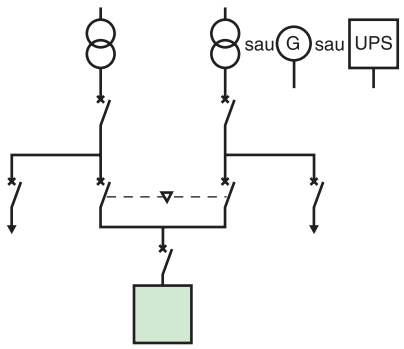



*Fig. D24: Alimentare din două surse cu anclanșare automată a rezervei.*

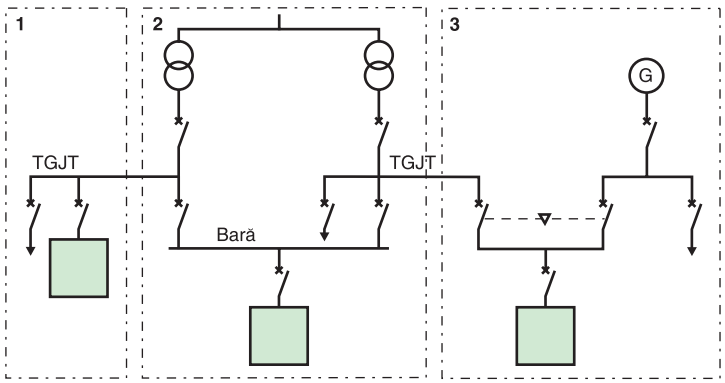



*Fig. D25: Exemple de configurații combinate: **1:** Transformator care debitează pe o bară, **2:** Tablouri interconectate, **3:** Configurație cu două surse.*

# 7 Alegerea detaliilor arhitecturii

Pentru diferitele configurații posibile, cele mai probabile și uzuale seturi de caracteristici sunt date în următorul tabel:

| Caracteristici de luat în considerare | Configurații | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Radială** | **Dublată** | **Secundară** | **Tablouri interconectate** | **Buclă** | **Două surse** |
| Topologia amplasamentului | Oricare | Oricare | Oricare | 1 nivel<br>5 la 25000 $m^2$ | 1 nivel<br>5 la 25000 $m^2$ | Oricare |
| Mărimea obiectivului | Oricare | Oricare | Oricare | Mediu sau mare | Mediu sau mare | Oricare |
| Mentenabilitate | Minimă | Standard | Minimă | Standard | Standard | Îmbunătățită |
| Necesarul de putere | < 2500 kVA | Oricare | Oricare | ⩾ 1250 kVA | > 2500 kVA | Oricare |
| Distribuția sarcinilor | Sarcini punctuale | Sarcini punctuale | Sarcini punctuale | Sarcini intermediare sau uniform distribuite | Sarcini uniform distribuite | Sarcini punctuale |
| Sensibilitatea la întreruperi | Acceptă întreruperi lungi | Acceptă întreruperi lungi | Neimportante | Acceptă întreruperi lungi | Acceptă întreruperi lungi | Acceptă întreruperi scurte sau nu acceptă întreruperi |
| Sensibilitatea la perturbații | Sensibilitate mică | Sensibilitate mare | Sensibilitate mică | Sensibilitate mare | Sensibilitate mare | Sensibilitate mare |
| Alte constrângeri | / | / | / | / | / | Receptoare alimentate din două surse |

# 8 Alegerea echipamentului

Alegerea echipamentului este a treia etapă în proiectarea unei instalaţii electrice. În această etapă se vor selecta echipamentele din cataloagele fabricanţilor. Alegerea soluţiilor tehnologice derivă din alegerea arhitecturii.

## Lista echipamentelor ce se vor lua în considerare:

- posturi de transformare MT/JT;
- echipament de MT;
- transformatoare;
- dulapuri de joasă tensiune;
- bare capsulate;
- unităţi UPS;
- echipament de compensare a energiei reactive şi filtrarea armonicelor.

**Criterii de luat în considerare:**

- atmosfera, mediul;
- indicele de serviciu;
- disponibilitatea ofertelor în fiecare ţară;
- cerinţele furnizorilor;
- alegerea anterioară a arhitecturii.

Alegerea echipamentului este legată în principiu de oferta disponibilă în ţară. Acest criteriu ia în considerare disponibilitatea anumitor game de echipament sau suportul tehnic local. Selecţia detaliată a acestui echipament nu este prezentată în acest document.

# 9 Recomandări pentru optimizarea arhitecturii



Recomandările următoare trebuie să ajute proiectanții în îmbunătățirea criteriilor de evaluare ale arhitecturilor.

## 9.1 Munca pe șantier

Pentru a corespunde cerințelor aplicațiilor “critice” sau “speciale” este recomandat să limităm incertitudinile aplicând următoarele recomandări:
- utilizați soluții și echipamente testate și validate de către producători (tablouri “funcționale” sau tablouri “de fabricant”) alese în funcție de criticitatea instalației;
- preferați instalarea unui produs pentru care există o rețea de distribuție de încredere și pentru care este posibilă obținerea unui suport tehnic local (fabricant implantat corespunzător);
- preferați utilizarea echipamentelor prefabricate (posturi de transformare MT/JT, bare capsulate prefabricate) în scopul limitării volumului operațiilor executate pe șantier;
- limitați varietatea echipamentului instalat (de exemplu gamele de puteri ale transformatoarelor);
- evitați utilizarea de echipament de la mai mulți fabricanți.

## 9.2 Impactul asupra mediului

Optimizarea estimărilor impactului asupra mediului a instalațiilor electrice va include reducerea:
- pierderilor de energie la sarcină nominală și în gol în timpul funcționării;
- global, a masei materialelor utilizate pentru realizarea instalației.

Luate separat și analizând un singur echipament cele două obiective pot părea contradictorii. Atunci când este aplicată întregii instalații este posibil să concepem o instalație care să contribuie la ambele obiective. Instalația optimă nu trebuie să fie deci suma echipamentelor optime luate separat ci un rezultat al optimizărilor aplicate asupra întregii instalații.
**Figura D26** dă un exemplu asupra contribuției fiecărei categorii de echipament la masa totală și la disiparea de energie pentru o instalație de 3500 kVA amplasată pe o suprafață de 10000 m².

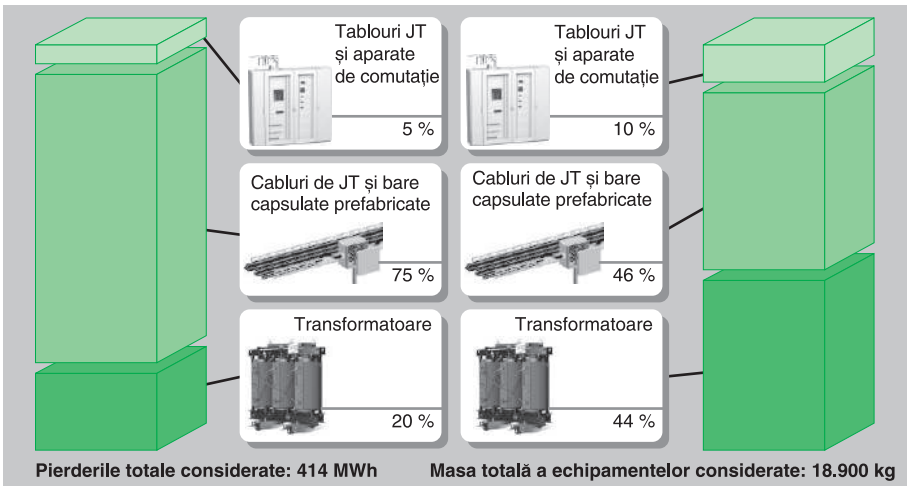



*Fig. D26: Exemplu de repartiție a greutății materialului și a pierderilor de energie pe fiecare categorie de echipament.*

Principalele contribuții la pierderile operaționale și la greutatea echipamentelor utilizate le au, deci, cablurile de JT și barele capsulate preafabricate împreună cu transformatoarele de putere MT/JT.
Optimizarea arhitecturii instalațiilor pentru conformitatea cu cerințele de mediu va implica:
- reducerea lungimii circuitelor JT din instalație;
- gruparea circuitelor comune oriunde este posibil pentru a profita de factorul de simultaneitate $k_s$ (vezi capitolul A: “Reguli generale de proiectare a instalațiilor electrice”, paragraful 4 “Puterea cerută de o instalație electrică”, subparagraful 4.3 “Estimarea cererii maxime de putere aparentă”.

| Obiective | Resurse |
|---|---|
| Reducerea lungimii circuitelor de JT | Plasarea posturilor de transformare MT/JT pe cât posibil aproape de centrul de greutate al sarcinilor ce urmează să fie alimentate |
| Gruparea circuitelor de JT | Atunci când factorul de simultaneitate $k_s$ al grupului de sarcini ce urmează a fi alimentate este mai mic decât 0,7 atunci gruparea circuitelor ne permite să limităm volumul conductoarelor ce alimentează cu energie electrică aceste sarcini. În termeni reali aceasta implică:<br>■ prevederea de tablouri electrice intermediare plasate pe cât posibil aproape de centrul de greutate al grupului de sarcini ce urmează a fi alimentate;<br>■ prevederea de bare capsulate prefabricate plasate pe cât posibil în vecinătatea grupurilor de sarcini distribuite.<br>Căutarea soluțiilor optime poate conduce la câteva scenarii de grupare.<br>În toate cazurile reducerea distanței între centrul de greutate al grupului de sarcini și echipamentul care le alimentează cu energie electrică permite reducerea impactului de mediu. |

*Tab. D27: Optimizarea în conformitate cu cerințele de mediu: Obiective și Resurse.*

Ca un exemplu **Fig. D28** arată impactul grupării circuitelor în cazul reducerii distanței între centrul de greutate a sarcinilor dintr-o instalație și sursele de putere (poziția TGJT este fixă). Exemplul privește o fabrică de îmbuteliere apă minerală.
■ poziția TGJT este impusă în afara clădirii principale din considerente de accesibilitate și mediu coroziv;
■ puterea instalată este în jur de 4 MVA.
În soluția numărul 1 circuitele sunt distribuite pentru fiecare atelier.
În soluția numărul 2 circuitele sunt distribuite după procesele funcționale (liniile de producție).

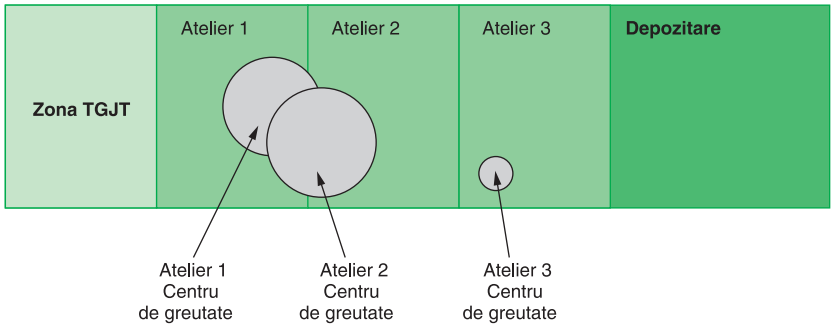
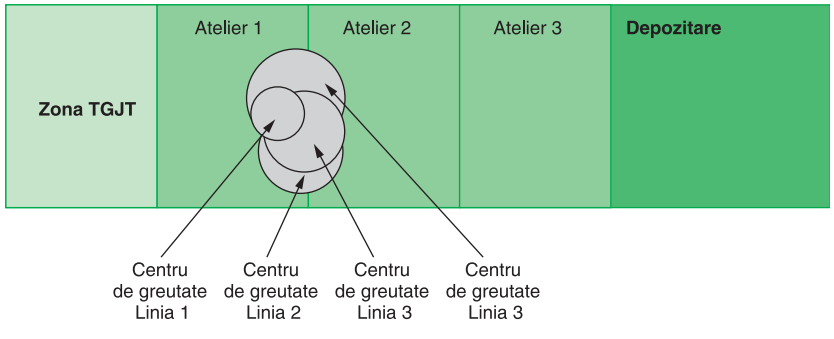
| Soluție | Poziția centrului de greutate |
|---|---|
| **Nr. 1** |  |
| **Nr. 2** |  |

*Fig. D28: Exemplu de poziționare a centrului de greutate.*

# 9 Recomandări pentru optimizarea arhitecturii



Fără a schimba configurația echipamentului electric, cea de-a doua soluție permite obținerea unor economii de aproximativ de 15% din greutatea cablurilor de joasă tensiune ce urmează a fi instalate (câștiguri în lungime) și o utilizare mai uniformă a puterii transformatorului.
Pentru a finaliza optimizarea în termeni de arhitectură o contribuție importantă o au și următorii factori:
- compensarea energiei reactive pentru a limita pierderile în transformatoare și, dacă compensarea este distribuită, în circuitele de joasă tensiune,
- utilizarea transformatoarelor cu pierderi reduse;
- utilizarea aluminiului ca material conductor în traseele de bare capsulate prefabricate deoarece resursele naturale ale acestui metal sunt mai mari.

## 9.3 Volumul mentenanței preventive

Recomandări pentru reducerea volumului mentenanței preventive:
- consideraţi aceleași recomandări ca și pentru reducerea muncii pe șantier;
- orientaţi munca de mentenanță asupra circuitelor critice;
- alegeți echipamente standardizate raţionalizate;
- utilizați echipament proiectat pentru atmosferă severă deoarece solicită mai puțină mentenanță.

## 9.4 Disponibilitatea energiei electrice

Recomandări pentru îmbunătățirea disponibilității energiei electrice:
- reduceți numărul de plecări pe tablou de distribuție pentru a limita efectele unui defect posibil al tabloului;
- distribuiți circuitele în raport cu cerințele de disponibilitate;
- utilizați echipament conform cu cerințele (vezi indicele de serviciu, subcapitolul 4.2);
- urmați ghidul de selecție propus pentru etapele 1 și 2 (vezi **Fig. D3** de la pag. D5).

Recomandări pentru creșterea nivelului disponibilității:
- evoluați de la o configurație radială cu un transformator la o configurație radială cu două transformatoare;
- evoluați de la o configurație radială cu două transformatoare la o configurație cu două surse;
- evoluați de la o configurație cu două surse la o configurație neîntreruptibilă cu unitate UPS și anclanșare automată a rezervei;
- creșteți nivelul mentenanței - reduceți MTTR (Mean Time To Repair, Media Timpului unei Reparații), creșteți MTBF (Mean Time Between Failure, Media Timpului de Bună Funcționare).

# 10 Glosar

**Arhitectură:** alegerea unei scheme monofilare și a unei soluții tehnologice pentru conectarea la rețeaua electrică de distribuție publică prin circuite electrice de putere.

**Distribuție principală MT/JT:** nivelul superior al arhitecturii, de la punctul de conectare la rețea până la echipamentul de distribuție principal (TGJT sau echivalent).

**TGJT - Tablou general de joasă tensiune:** tabloul principal din avalul transformatoarelor MT/JT care este punctul de pornire al circuitelor electrice de distribuție din instalație.

**Distribuție de putere de JT:** nivel intermediar al arhitecturii, din avalul nivelului principal până la ieșirea din tablourile electrice intermediare.

**Distribuție terminală de JT:** nivelul inferior al arhitecturii, din avalul tablourilor electrice intermediare până la receptoare. Acest nivel al distribuției nu este tratat în această lucrare.



**Schemă monofilară:** diagrama electrică schematică pentru reprezentarea principalelor echipamente electrice și a conexiunilor între ele.

**Post de transformare MT/JT, punct de conexiuni:** incinte grupând echipamente de medie tensiune și/sau transformatoare MT/JT. În funcție de tehnologia echipamentelor și de topologia obiectivului echipamentele pot fi amplasate în aceeași cameră sau în camere diferite. În anumite țări (printre care și România) distribuția se poate face din postul de transformare.

**Soluție tehnologică:** rezultatul alegerilor tehnologice pentru subansamblul unei instalații dintre diferitele produse și echipamente propuse de fabricant.

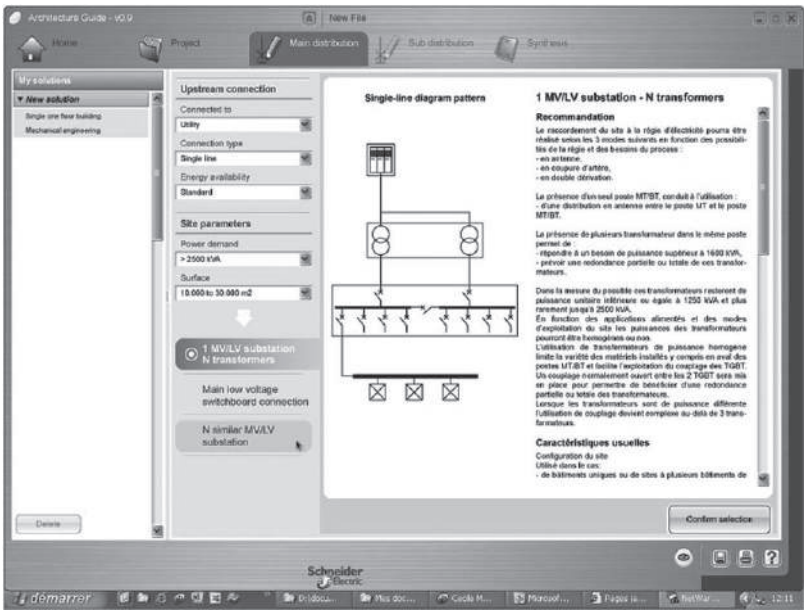
**Caracteristici:** date tehnice sau de mediu referitoare la instalații, permițând alegerea celei mai potrivite arhitecturi.

**Criterii:** parametrii pentru evaluarea instalației, permițând alegerea arhitecturii cele mai potrivite pentru nevoile clientului.

# 11 Programul de calcul ID-Spec



**ID-Spec** este un nou program de calcul al cărui scop este să ajute proiectantul să realizeze mai ușor și mai profesional prima fază a proiectării argumentând temeinic deciziile principale.
Proiectantul este îndrumat în selectarea schemei monofilare adecvate pentru distribuția de putere principală, intermediară și finală a instalației proiectate. De asemenea poate selecta ușor echipamentul tehnologic și caracteristicile principale ale acestuia. Specificaţiile corespondente sunt generate automat, inclusiv schema monofilară și argumentele pentru care a fost aleasă precum și lista de specificații a echipamentului corespondent ales.
Astfel o primă variantă argumentată a proiectului va putea fi realizată și prezentată clientului într-un termen foarte scurt.
Acest program de calcul este disponibil și în limba română.



# Capitolul E
# Distribuția în instalații de joasă tensiune

## Cuprins


| | | |
|---|---|---|
| 1 | **Scheme de tratare a neutrului** | **E2** |
| | 1.1 Legarea la pământ | E2 |
| | 1.2 Definirea schemelor standardizate de tratare a neutrului | E3 |
| | 1.3 Caracteristicile sistemelor TT, TN și IT | E6 |
| | 1.4 Criterii de selecție pentru sistemele TT, TN și IT | E8 |
| | 1.5 Alegerea și implementarea sistemului de tratare a neutrului | E10 |
| | 1.6 Instalarea și măsurarea prizei de pământ | E11 |
| 2 | **Sisteme de instalare** | **E15** |
| | 2.1 Tablouri de distribuție | E15 |
| | 2.2 Cabluri și bare capsulate prefabricate | E18 |
| 3 | **Influențe externe (CEI 60364-5-51)** | **E25** |
| | 3.1 Definiții și standarde de referință | E25 |
| | 3.2 Clasificare | E25 |
| | 3.3 Lista influențelor externe | E25 |
| | 3.4 Grade de protecție pentru echipament: codurile IP și IK | E28 |

# 1 Scheme de tratare a neutrului

*Într-o clădire, conectarea tuturor părţilor metalice ale clădirii şi a părţilor conductoare expuse ale echipamentelor la priza de pământ a clădirii previne apariţia accidentală a unor tensiuni periculoase între două piese metalice accesibile simultan.*



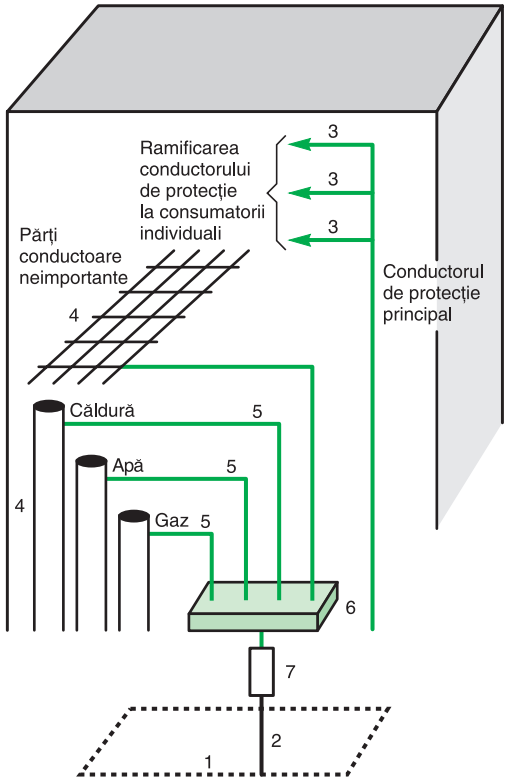



*Fig. E1: Exemplul unui bloc de locuinţe în care piesa de distribuţie echipotenţială **(6)** furnizează conexiunile echipotenţiale principale, iar eclisa de separaţie **(7)** permite măsurarea prizei de pământ.*

## 1.1 Legarea la pământ

### Definiţii

Standardele naţionale şi internaţionale (CEI 60364) definesc clar diferitele elemente ale legăturilor la pământ. Următorii termeni sunt utilizaţi în mod curent în industrie sau în literatura de specialitate. Numerele din paranteză se referă la **Figura E1**:

- Priza de pământ (1): un conductor sau un grup de conductoare în contact direct şi asigurând o conexiune electrică cu pământul (conform detaliilor din subparagraful 1.6 al capitolului E);
- Pământ: masa conductoare a pământului al cărui potenţial electric, în orice punct, este considerat prin convenţie egal cu zero;
- Priza de pământ separată: prize de pământ localizate la o astfel de distanţă una faţă de cealaltă încât curentul maxim care circulă printr-una dintre ele nu afectează semnificativ potenţialul celeilalte;
- Rezistenţa de dispersie a prizei de pământ: rezistenţa de contact dintre electrodul prizei de pământ şi pământ;
- Conductoarele de legare la pământ (2): un conductor de protecţie care leagă conductorul principal (centura) de împământare (6) a instalaţiei la priza de pământ (1) sau alt mijloc de punere la pământ (de exemplu sisteme TN);
- Părţi expuse conductoare: o parte conductoare a echipamentului care poate fi atinsă şi care, în mod normal nu e sub tensiune, dar care poate ajunge sub tensiune în mod accidental;
- Conductor de protecţie (3): un conductor folosit pentru anumite măsuri de protecţie contra şocurilor electrice şi care este destinat a asigura legarea următoarelor elemente:
  - ☐ părţi expuse conductoare,
  - ☐ părţi conductoare neimportante,
  - ☐ conductorul principal de legare la pământ,
  - ☐ priză de pământ,
  - ☐ punctul de legare la pământ al sursei, sau un punct de neutru artificial;
- Părţi conductoare neimportante: o parte conductoare susceptibila de a prezenţa un potenţial propriu, în general potenţialul pământului şi care nu face parte din instalaţia electrică (4). De exemplu:
  - ☐ podele şi pereţi neizolaţi, cadrul de metal al clădirii,
  - ☐ conducte de metal pentru apă, gaz, încălzire, aer comprimat, etc. şi materialele metalice asociate cu acestea;
- Conductor pentru egalizarea potenţialelor (5): un conductor de protecţie care asigură legătura între diversele elemente, creând o reţea de echipotenţialitate;
- Centuri interioare pentru egalizarea potenţialelor (6): bornă sau bară prevăzută pentru legarea conductoarelor de protecţie, incluzând conductoarele de legătură de echipotenţialitate şi orice conductoare de legătură cu elementele de împământare.

### Legături

**Legătura principală de egalizare a potenţialelor**

Legătura echipotenţială (prin conductoare de protecţie) se realizează cu scopul de a se asigura protecţia în cazul în care o parte intermediară (de exemplu o conductă de gaz) este adusă în mod accidental la un potenţial periculos, dintr-o cauză externă, pentru ca să nu apară nici o diferenţă de potenţial între părţile conductoare externe ale instalaţiei. Legătura trebuie efectuată cât se poate de aproape de punctul de intrare în clădire, şi anume la centura de egalizare a potenţialelor (6).
Uneori, legarea la pământ a cămăşii metalice (blindajului) a cablurilor de comunicaţii, cere autorizarea din partea proprietarului cablurilor.

**Legături echipotenţiale suplimentare**

Aceste conexiuni sunt menite să lege toate părţile intermediare şi toate masele externe accesibile simultan. Aceasta este necesar atunci când nu se îndeplinesc condiţiile corecte de protecţie, adică conductoarele pentru egalizarea potenţialelor prezintă o rezistenţă inacceptabil de mare.

**Legarea părţilor conductoare expuse la priza de pământ**

Legarea este făcută prin conductoare de protecţie cu scopul de a asigura o cale de rezistenţă mică pentru curenţii de defect care circulă spre pământ.

### Componente (vezi **Tabelul E2**)

Legarea eficientă la pământ a tuturor pieselor de metal accesibile şi maselor utilajelor şi echipamentelor electrice sunt esenţiale pentru protecţia împotriva şocurilor electrice.

| Părţi componente ce vor fi considerate ca: părţi expuse conductoare | părţi conductoare neimportante |
|---|---|
| Canale de cabluri<br>■ conducte<br>■ cabluri armate şi nearmate<br>■ cabluri izolate cu manta metalică | Elemente utilizate în construcţia clădirii<br>■ metal sau beton armat:<br>☐ structura de oţel<br>☐ metal pentru armare<br>☐ panouri prefabricate<br>■ finisarea suprafeţelor:<br>☐ podele şi pereţi de beton armat fără finisări ulterioare<br>☐ suprafeţe pardosite<br>■ acoperiri metalice:<br>☐ acoperiri metalice ale pereţilor |
| Aparat de comutaţie<br>■ partea fixă a unui aparat de comutaţie debrosabil | |
| Dispozitive<br>■ părţi expuse metalice ale aparatelor cu izolaţie de clasă 1 | |
| Elemente neelectrice<br>■ elemente metalice asociate traseelor de cabluri (jgheaburi, rastele de cabluri, etc.)<br>■ obiecte metalice:<br>☐ apropiate conductoarelor aeriene sau barelor<br>☐ în contact cu echipamentul electric | Utilităţi ale clădirilor altele decât cele electrice:<br>■ ţevi metalice, conducte pentru gaz, apă<br>■ componente metalice asociate: boilere, rezervoare, radiatoare<br>■ accesorii metalice în băi<br>■ hârtie metalizată |

| Părţi componente ce nu vor fi considerate ca: părţi expuse conductoare | părţi conductoare neimportante |
|---|---|
| Diverse canale de serviciu, ghene, etc<br>■ conducte fabricate din material izolant<br>■ forme de lemn sau alt material izolant<br>■ conductoare şi cabluri fără armaturi metalice | ■ pardoseli din lemn<br>■ podele acoperite cu covoare de cauciuc sau cu linoleum<br>■ pereţi de rigips<br>■ pereţi de cărămidă<br>■ covoare şi tapiserii |
| Aparate de comutaţie<br>■ carcase confecţionate din material izolant | |
| Dispozitive<br>■ toate aparatele care au clasa 2 de izolaţie în funcţie de tipul carcasei exterioare | |

***Tab. E2:*** *Lista părţilor expuse conductoare şi a părţilor conductoare neimportante.*

*Diferitele scheme de legare la pământ (referitoare la tipul sistemului de alimentare sau al sistemului de tratare a neutrului) caracterizează modul de legare la pământ a instalaţiei din avalul înfăşurării secundare a unui transformator MT/JT, precum şi mijloacele utilizate pentru punerea la pământ a părţilor conductoare expuse ale instalaţiei de JT alimentate de acesta.*

## 1.2 Definirea schemelor standardizate de tratare a neutrului

Alegerea acestor scheme determină măsurile necesare pentru protecţia împotriva contactelor accidentale.

Există trei opţiuni principale pentru proiectantul unei instalaţii de distribuţie electrică:

■ tipul conexiunilor sistemului electric (în general a conductorului neutru) şi a părţilor expuse la priza de pământ;

■ utilizarea unui conductor de protecţie separat (PE) sau a unui conductor de protecţie comun cu conductorul neutru (PEN);

■ utilizarea pentru protecţia la punere la pământ a protecţiei maximale de curent a întreruptoarelor automate de JT, care vor sesiza şi elimina doar curenţii relativ mari, sau utilizarea unor relee adiţionale capabile să detecteze şi să elimine curenţii mult mai mici de defect al izolaţiei către pământ.

În practică aceste opţiuni au fost grupate şi standardizate aşa cum se explică în cele ce urmează.

Fiecare din aceste opţiuni conduce la un sistem de tratare a neutrului cu avantaje şi dezavantaje:

■ legarea împreună a părţilor conductoare expuse ale echipamentelor şi a conductorului neutru la conductorul de protecţie PE duce la echipotenţialitate şi la reducerea supratensiunilor dar măreşte curenţii de defect la pământ;

■ un conductor de protecţie separat este mai costisitor, chiar dacă are secţiune mică, dar este mult mai puţin probabil să fie poluat cu armonici sau goluri de tensiune decât conductorul neutru. Se evită apariţia curenţilor de scurgere la pământ în părţile conductoare neesenţiale;

■ instalarea releelor diferenţiale reziduale sau a dispozitivelor de monitorizare a izolaţiei înseamnă o protecţie mult mai sensibilă care permite în multe cazuri eliminarea defectelor înainte de apariţia daunelor importante (arderea motoarelor, incendii, electrocutări). Protecţia oferită este, în plus, independentă şi trebuie avută în vedere la schimbările dintr-o instalaţie existentă.

# 1 Scheme de tratare a neutrului



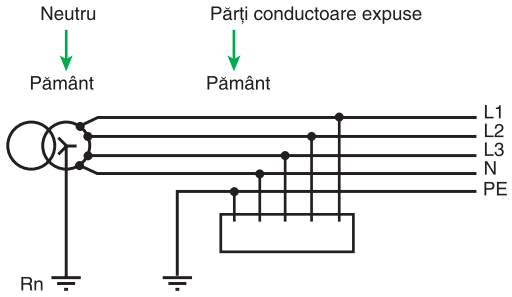



*Fig. E3: Sistemul TT.*

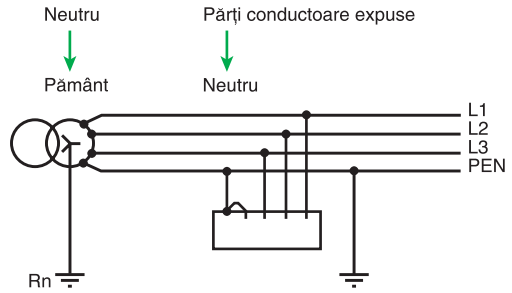



*Fig. E4: Sistemul TN-C.*

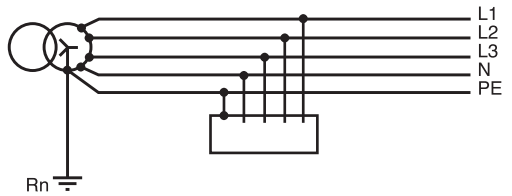



*Fig. E5: Sistemul TN-S.*

## Sistemul TT (neutru legat la pământ) (vezi **Fig. E3**)

Punctul neutru al sursei de alimentare este legat direct la pământ. Toate părțile expuse conductoare și părțile conductoare neesențiale sunt legate la priza de pământ separată ale instalației. Acestă priză de pământ poate fi sau nu electric independentă față de priza de pământ a sursei. Zonele de influență pot interfera fără a influența funcționarea dispozitivelor de protecție.

## Sistemul TN (părțile conductoare expuse legate la neutru)

Sursa este legată la pământ în același mod ca și în schema TT. În instalație toate părțile expuse conductoare și părțile conductoare neesențiale sunt legate la conductorul neutru. În continuare sunt prezentate mai multe versiuni ale schemelor TN.

**Sistemul TN-C** (vezi **Fig. E4**)
Conductorul neutru are și funcția de conductor de protecție, fiind numit conductor PEN (conductor de protecție și nul). Această schemă nu este permisă pentru conductoare din cupru cu secțiune sub 10 mm$^2$ (16 mm$^2$ pentru aluminiu) sau pentru echipament portabil.
Schema TN-C cere stabilirea unei zone eficiente de echipotențialitate, cu dispunerea pe cât posibil echidistantă a prizelor de pământ deoarece conductorul PEN este și conductor neutru și deci transportă în același timp curenții generați de sarcinile dezechilibrate ca și armonicile de ordin 3 (și multiplii lor).
De aceea, suplimentar conductorul PEN trebuie conectat la mai multe prize de pământ în aceeași instalație.
**Atentie:** În sistemul TN-C, funcția “conductor de protecție” are prioritate asupra funcției “conductor neutru”. În particular un conductor PEN trebuie conectat întotdeauna la terminalul de împământare al unui receptor și un știft este folosit pentru a conecta acest terminal la terminalul de neutru.

**Sistemul TN-S** (vezi **Fig. E5**)
Sistemul TN-S (5 conductoare) este obligatoriu pentru circuite cu conductoare de secțiune mai mică decât 10 mm$^2$ și pentru echipamentele portabile. Conductorul de protecție și conductorul neutru sunt separate. În rețelele subterane unde există cabluri armate cu bandă de oțel, conductorul de protecție este banda de oțel.

**Sistemul TN-C-S** (vezi **Fig. E6** de mai jos și **Fig. E7** de pe pagina următoare).
Schemele TN-C și TN-S pot fi utilizate simultan în aceeași instalație. În schemele TN-C-S, schema TN-C (4 conductoare) nu poate fi folosită niciodată în aval de schema TN-S (5 conductoare) deoarece o întrerupere accidentală a neutrului în amonte va conduce la o întrerupere a conductorului de protecție în aval și deci la un potențial pericol.

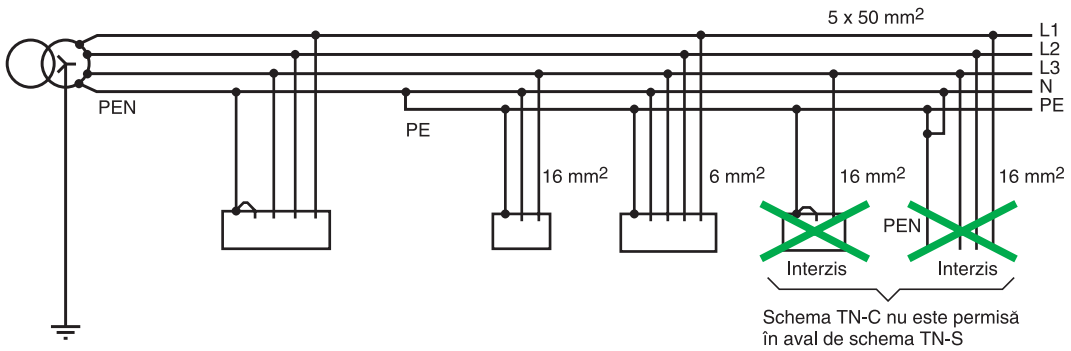



*Fig. E6: Sistemul TN-C-S.*

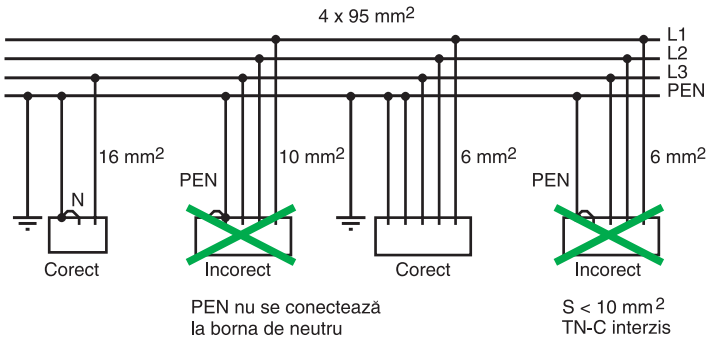



*Fig. E7: Conectarea conductorului PEN in sistemul TN-C.*

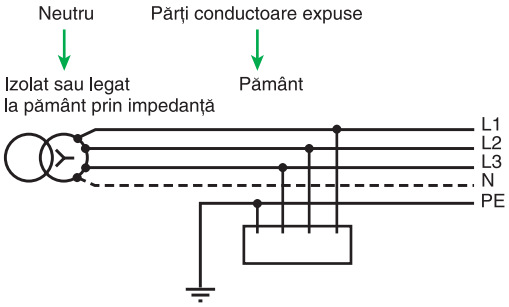



*Fig. E8: Sistemul IT (neutru izolat).*

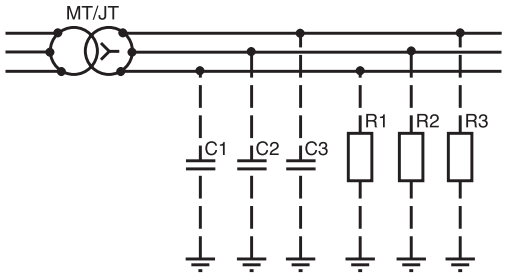



*Fig. E9: Sistemul IT (neutru izolat).*

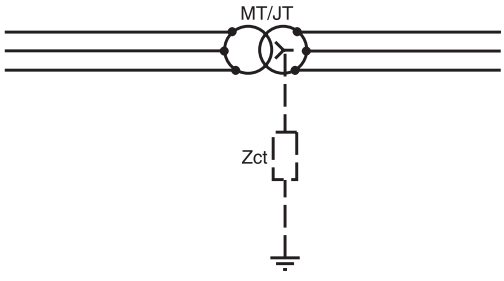



*Fig. E10: Impedanța echivalentă cu impedanța circuitului de scurgere într-un sistem IT.*

## Sistemul IT (neutru izolat sau legat la pământ prin impedanță)

**Sistemul IT (neutru izolat)**

Nu conține nici o legătură între punctul de neutru al sursei și pământ (vezi **Fig. E8**). Părțile expuse conductoare și părțile conductoare neesențiale ale instalației sunt legate la priza de pământ.

În practică toate circuitele au o impedanță de scurgere la pământ, deoarece nici o izolație nu este perfectă. În paralel cu aceste trasee de scurgere, cu caracter rezistiv (rezistență distribuită) există o cale de curent capacitiv, cele două elemente definind împreună impedanța normală de scurgere la pământ (vezi **Fig. E9**).

**Exemplu** (vezi **Fig. E10**)

Într-un sistem de JT trifazat cu 3 conductoare, 1 Km de cablu are impedanță de scurgere determinată de C1, C2, C3 și R1, R2, R3 echivalentă cu existența unei impedanțe între punctul de neutru și pământ: $Z_{ct}$ de la 3000 la 4000 Ω, fără a socoti capacitanțele de filtrare ale dispozitivelor electronice.

**Sistemul IT (neutru legat la pământ prin impedanță)**

O impedanță $Z_s$ (de valoare de la 1000 la 2000 Ω) este conectată permanent între punctul de neutru al înfășurării de JT a transformatorului și pământ (vezi **Fig. E11**). Toate părțile expuse conductoare și părțile conductoare neesențiale sunt legate la o priză de pământ. Rațiunea pentru această formă de punere la pământ a sursei de alimentare este de a fixa potențialul unei porțiuni de rețea în raport cu pământul ($Z_s$ este mică în raport cu impedanța de scurgere) și de a reduce nivelul supratensiunilor în raport cu pământul, cum ar fi cele transmise prin înfășurarea de MT, cele de natură electrostatică, etc. Uneori acest fapt produce o ușoară creștere a nivelului curentului de defect.

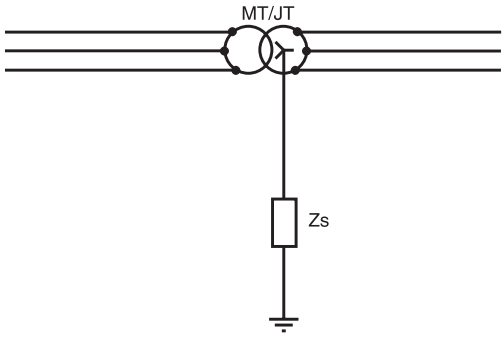



*Fig. E11: Sistemul IT (neutru legat la pământ prin impedanță).*

*Sistemul TT :*
■ *tehnica pentru protecția persoanelor: toate părțile expuse conductoare sunt legate la pământ și sunt utilizate dispozitive de curent diferențial rezidual;*
■ *tehnica de exploatare: întrerupere la primul defect de izolație.*

## 1.3 Caracteristicile sistemelor TT, TN și IT

### Sistemul TT (vezi **Fig. E12**)

**Notă:** Dacă părțile conductoare expuse sunt legate la pământ într-un număr de puncte, câte un dispozitiv RCD trebuie instalat pentru fiecare set de circuite conectat la o priză de pământ.

**Caracteristici principale**
■ Cea mai simplă soluție din punct de vedere al proiectării și realizării. Utilizată pentru instalații alimentate direct din rețeaua de JT de distribuție publică.
■ Nu necesită monitorizare permanentă în timpul funcționării (poate fi necesară o verificare periodică a dispozitivelor RCD).
■ Protecția este asigurată de dispozitive de curent diferențial rezidual (RCD, Residual Current Device) care previn de asemenea riscul de incendiu atunci când sunt setate la o valoare mai mică de 500 mA.
■ Fiecare defect de izolație conduce la o întrerupere în alimentarea cu energie electrică dar întreruperea este limitată la circuitul defect prin instalarea RCD-uri selective (în serie) sau a celor de selectare a circuitelor (paralel).
■ Sarcinile sau părțile din instalație care, în timpul funcționării normale, pot cauza scurgeri de curent la pământ, necesită măsuri speciale pentru evitarea declanșărilor intempestive precum alimentarea sarcinilor printr-un transformator de separație sau utilizarea unui RCD dedicat (vezi secțiunea 5.1 din capitolul F).

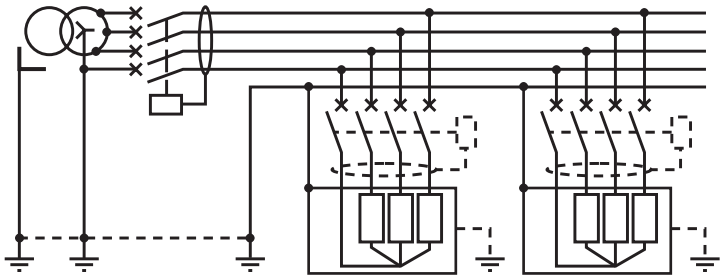


***Fig. E12:*** *Sistemul TT.*

*Sistemul TN :*
■ *tehnica pentru protecția persoanelor:*
☐ *interconectarea și legarea la pământ a părților expuse conductoare și a neutrului este obligatorie,*
☐ *întreruperea la primul defect utilizând protecția maximală de curent (întreruptoare automate sau fuzibile);*
■ *tehnica de exploatare: întreruperea la primul defect de izolație.*

### Sistemul TN (vezi **Fig. E13** și **Fig. E14**)

**Caracteristici principale**
■ În general sistemul TN:
☐ necesită instalarea de prize de pământ la anumite intervale în instalația electrică,
☐ necesită ca verificarea inițială, încă din faza de proiect, prin calcule, a declanșării efective la primul defect de izolație să fie confirmată de testele obligatorii la punerea în funcțiune,
☐ necesită ca proiectarea și realizarea oricărei modificări a instalației să fie realizată de către personal calificat,
☐ în cazul unor defecte de izolație este posibilă producerea unor daune importante înfășurărilor mașinilor rotative,
☐ în locații cu risc crescut de incendiu poate reprezenta un pericol important datorită curenților de defect de valori mari.
■ Suplimentar sistemul TN-C:
☐ la prima vedere pare mai ieftin (eliminarea unui pol și a unui conductor),
☐ impune utilizarea unor conductoare fixe și rigide,
☐ este interzisă utilizarea în anumite situații:
- locații cu risc crescut de incendiu
- pentru tehnica de calcul (prezența curenților armonici pe conductorul de neutru).
■ Suplimentar sistemul TN-S:
☐ poate fi utilizat inclusiv pentru conductoare flexibile sau de secțiuni mici,
☐ datorită separării fizice a conductorului neutru de conductorul de protecție există un PE curat (pentru sisteme de computere și locații cu riscuri speciale).

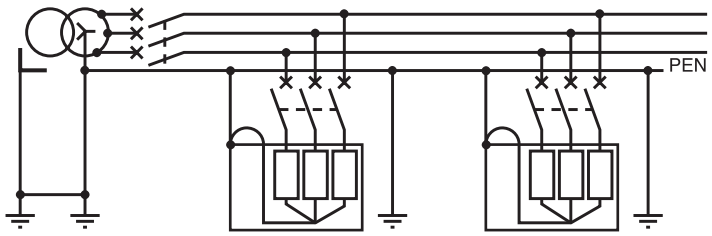



*Fig. E13: Sistemul TN-C.*

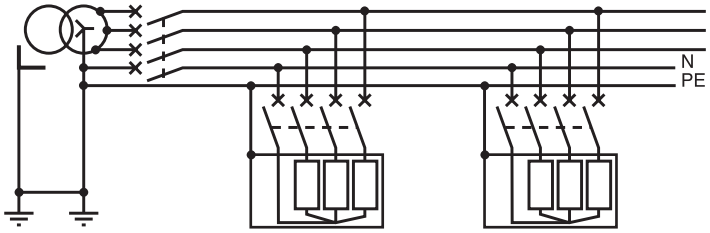



*Fig. E14: Sistemul TN-S.*

*Sistemul IT:*
- *tehnica pentru protecția persoanelor:*
  - *interconectarea și legarea la pământ a părților expuse conductoare,*
  - *semnalizarea la primul defect utilizând dispozitive de monitorizare a izolației (IMD, Insulation Monitoring Device),*
  - *întreruperea la al doilea defect utilizând protecția maximală de curent (întreruptoare automate sau fuzibile);*
- *tehnica de exploatare:*
  - *monitorizarea primului defect de izolație,*
  - *localizarea și eliminarea defectului este obligatorie,*
  - *întreruperea pentru două defecte simultane de izolație.*

## **Sistemul IT** (vezi **Fig. E15**)

**Caracteristici principale**

- Soluția aceasta asigură cea mai bună continuitate în alimentarea cu energie electrică.
- Semnalizarea primului defect de izolație urmată obligatoriu de localizarea și eliminarea sa asigură prevenirea întreruperii alimentării.
- Utilizat în general în instalații alimentate din transformatoare MT/JT sau JT/JT de abonat.
- Necesită personal de întreținere pentru monitorizare și exploatare.
- Necesită un nivel ridicat al izolației în rețea (implică secționarea rețelelor mari și utilizarea transformatoarelor de separație pentru alimentarea sarcinilor cu curenți de scurgere ridicați).
- Verificarea declanșării efective la al doilea defect simultan de izolație trebuie realizată prin calcul încă din faza de proiectare urmată obligatoriu de măsurători la punerea în funcțiune a fiecărui grup de părți conductoare expuse interconectate.
- Protecția conductorului de neutru trebuie asigurată așa cum se indică în secțiunea 7.2 din capitolul G.

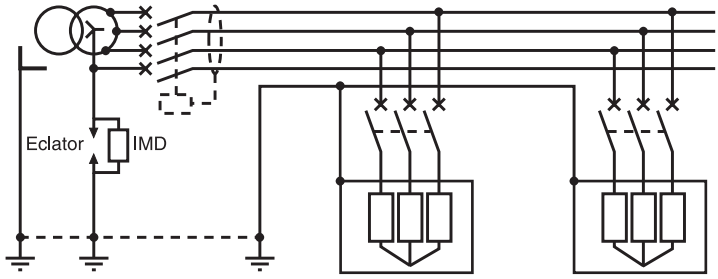



*Fig. E15: Sistemul IT.*

*Selecția nu depinde de criterii de siguranță. Cele trei sisteme sunt echivalente în termeni de protecția persoanelor dacă toate regulile de instalare și exploatare sunt respectate întocmai. Criteriul de selecție pentru cel mai bun sistem depinde de reglementările în vigoare, de continuitatea cerută în alimentare, de condițiile de exploatare și de tipurile de rețele și de sarcini.*

## 1.4 Criterii de selecție pentru sistemele TT, TN și IT

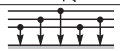
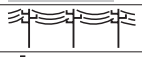
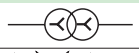
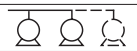
În termeni de protecție a persoanelor, cele trei sisteme de tratare a neutrului sunt echivalente dacă toate regulile de instalare și exploatare sunt respectate întocmai. În consecință, selecția nu depinde de criterii de siguranță.
Numai prin combinarea tuturor cerințelor în ce privește reglementările, continuitatea în alimentare, condițiile de exploatare și tipurile de rețele și de sarcini este posibil să se determine cel mai potrivit sistem (vezi **Tab. E16**).
Selecția este determinată de următorii factori:
- în primul rând reglementările în vigoare care în anumite cazuri impun anumite sisteme de tratare a neutrului;
- în al doilea rând decizia beneficiarului de a fi alimentat printr-un transformator propriu (măsură pe medie tensiune) sau prin sursă de energie separată.

Dacă există posibilitatea efectivă de a alege atunci decizia cu privire la modul de tratare a neutrului se va lua în urma discuțiilor cu proiectantul rețelei (birou de proiectare sau instalator).
Discuția trebuie să acopere:
- mai întâi cerințele de exploatare (nivelul cerut al continuității în alimentare) și condițiile de exploatare (mentenanță asigurată de personal calificat în domeniul electric sau nu, propriu sau nu, etc.);
- în al doilea rând caracteristicile particulare ale rețelei și sarcinilor (vezi **Tab. E17** de pe pagina următoare).



| Caracteristici electrice | TT | TN-S | TN-C | IT1 | IT2 | Comentarii |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Curentul de defect | - | - - | - - | + | - - | Numai sistemul IT oferă curenți de defect neglijabili (la primul defect) |
| Tensiunea de defect | - | - | - | + | - | În sistemul IT tensiunea de atingere este neglijabilă pentru primul defect dar este considerabilă pentru al doilea |
| Tensiunea de atingere | +/- - | - | - | + | - | În sistemul TT tensiunea de atingere este scăzută dacă sistemul este echipotențial, altfel este ridicată |
| **Protecție** | | | | | | |
| Protecția persoanelor împotriva contactului indirect | + | + | + | + | + | Toate sistemele de tratare a neutrului (STN) sunt echivalente dacă regulile fiecăruia sunt respectate |
| Protecția persoanelor în cazul generatoarelor pentru situații de urgență | + | - | - | + | - | Sist. unde protecția este asigurată de către dispozitive diferențiale reziduale nu sesizează schimbarea impedanței interne a sursei |
| Protecția împotriva incendiilor (cu un dispozitiv diferențial rezidual) | + | + | nu este permis | + | + | Toate STN-urile în care se pot utiliza dispozitive diferențiale reziduale sau echivalente. Sistemul TN-C este interzis în imobilele cu risc de incendiu |
| **Supratensiuni** | | | | | | |
| Supratensiuni continue | + | + | + | - | + | O supratensiune fază-pământ este continuă în sistemul IT, dacă este vorba de primul defect de izolație |
| Supratensiuni tranzitorii | + | - | - | + | - | Sist. cu curenți de defect mari pot provoca supratensiuni tranzitorii |
| Supratensiuni în cazul defectării transformatorului (primar/secundar) | - | + | + | + | + | În sistemul TT există un dezechilibru de tensiune între diferitele prize de pământ. Celelalte sisteme sunt interconectate formând o singură priză de pământ |
| **Compatibilitate electromagnetică** | | | | | | |
| Imunitate la loviturile de trăsnet din apropiere | - | + | + | + | + | În sistemul TT pot apărea dezechilibre de tensiune între diferitele prize de pământ. Aici există o circulație de curent între două prize de pământ separate |
| Imunitate la loviturile de trăsnet pe liniile de înaltă tensiune | - | - | - | - | - | Toate STN sunt echivalente în cazul unei lovituri directe de trăsnet în liniile de înaltă tensiune |
| Emisie continuă a unui câmp electromagnetic | + | + | - | + | + | Conectarea PEN la structura metalică a clădirii determină emisia continuă a unui câmp electromagnetic |
| Ne-echipotențialitatea tranzitorie a PE | + | - | - | + | - | PE nu mai este echipotențial în cazul unor curenți de defect mari |
| **Continuitatea în serviciu** | | | | | | |
| Întreruperea la primul defect | - | - | - | + | + | Numai în sistemul IT nu este necesară declanșarea la primul defect de izolație |
| Goluri de tensiune în timpul defectelor de izolație | + | - | - | + | - | Sistemele TN-S, TN-C și IT (al doilea defect) pot genera curenți de defect mari care pot produce goluri de tensiune |
| **Instalarea** | | | | | | |
| Dispozitive speciale | - | + | + | - | - | Sistemul TT impune utilizarea dispozitivelor diferențiale reziduale. Sistemul IT impune utilizarea dispozitivelor de control a izolației |
| Numărul de prize de pământ | - | + | + | -/+ | -/+ | Sistemul TT impune două prize de pământ distincte. Sistemul IT oferă o alegere între una sau două prize de pământ |
| Numărul de cabluri | - | - | + | - | - | Numai sistemul TN-C permite, în anumite cazuri, reducerea numărului de cabluri |
| **Mentenanța** | | | | | | |
| Costul reparațiilor | - | - - | - - | - | - - | Costul reparațiilor depinde de daunele provocate de către amplitudinea curenților de defect |
| Daunele provocate instalațiilor | + | - | - | ++ | - | Sistemele care generează curenți de defect importanți necesită o verificare a instalației după eliminarea unui defect |

***Tab. E16:*** *Comparația între sistemele de tratare a neutrului.*

| Tipuri de rețele | | Recomandate | Posibile | Nerecomandate |
|---|---|---|---|---|
| Rețele extinse cu o calitate foarte bună a prizei de pământ pentru părțile conductoare expuse (rezistență de dispersie < 10 Ω) | | | TT, TN, IT(1) sau mixte | |
| Rețele extinse cu o calitate foarte bună a prizei de pământ pentru părțile conductoare expuse (rezistență de dispersie > 30 Ω) | | TN | TN-S | IT(1)<br>TN-C |
| Zone perturbate (furtuni)<br>(exemplu: emițătoare de radio și televiziune) | | TN | TT | IT(2) |
| Rețele cu curenți reziduali mari (> 500 mA) | | TN(4) | IT(4)<br>TT(3)(4) | |
| Rețele exterioare cu conductoare aeriene |  | TT(5) | TN(5)(6) | IT(6) |
| Grupuri generatoare pentru situații de urgență | | IT | TT | TN(7) |
| **Tipuri de sarcini** | | | | |
| Sarcini sensibile la curenți de defect importanți (motoare, etc.) | | IT | TT | TN(8) |
| Sarcini cu un nivel de izolație redus (cuptoare electrice, mașini de sudură, elemente de încălzire, echipamente din bucătăriile mari) | | TN(9) | TT(9) | IT |
| Numeroase sarcini monofazate (mobile, semi-fixe, portabile) | | TT(10)<br>TN-S | | IT(10)<br>TN-C(10) |
| Sarcini prezentând riscuri considerabile (macarale, transportoare, etc.) | | TN(11) | TT(11) | IT(11) |
| Numeroase auxiliare (mașini unelte) | | TN-S | TN-C<br>IT(12bis) | TT(12) |
| **Diverse** | | | | |
| Alimentări prin transformatoare de putere cu conexiunea stea-stea(13) |  | TT | IT<br>fără neutru | IT(13)<br>fără neutru |
| Imobile cu risc de incendiu | | IT(15) | TN-S(15)<br>TT(15) | TN-C(14) |
| Creștere a puterii contractate cu furnizorul de energie implicând post de transformare propriu | | TT(16) | | |
| Instalații cu modificări frecvente |  | TT(17) | | TN(18)<br>IT(18) |
| Instalații unde continuitatea circuitului de împământare este incertă (șantiere, instalații vechi) | | TT(19) | TN-S | TN-C<br>IT(19) |
| Echipament electronic (computere, automate programabile, etc.) | | TN-S | TT | TN-C |
| Rețele de monitorizare a echipamentelor, senzori și actuatori PLC | | IT(20) | TN-S, TT | |

***(1)*** *Când sistemul de tratare a neutrului nu este impus de reglementări, el este selectat în funcție de cerințele exploatării (continuitate în serviciu, cerută din motive de securitate sau de creștere a productivității, etc.).*
*Oricare ar fi sistemul de tratare a neutrului, probabilitatea defectelor de izolație crește odată cu lungimea rețelei. De aceea o idee bună poate fi aceea de a fragmenta rețeaua, ușurând localizarea defectului și făcând posibil adoptarea pentru fiecare porțiune a sistemului recomandat.*
***(2)*** *Acțiunea trăsnetelor asupra descărcătoarelor poate transforma un neutru izolat într-un neutru legat la pământ. Riscul este ridicat pentru regiuni cu furtuni frecvente sau pentru instalații alimentate din linii aeriene. Dacă a fost ales sistemul IT pentru a asigura un nivel înalt al continuității în serviciu atunci proiectantul trebuie să calculeze foarte precis condițiile de declanșare la al doilea defect.*
***(3)*** *Riscul unei declanșări intempestive a dispozitivului de curent diferențial rezidual.*
***(4)*** *Oricare ar fi sistemul de tratare a neutrului, soluția ideală este de a izola secțiunea cu perturbații dacă aceasta poate fi ușor identificată.*
***(5)*** *Riscul unui defect fază-pământ afectând echipotențialitatea.*
***(6)*** *Izolația este incertă datorită umidității și prafului conductor.*
***(7)*** *Sistemele TN nu sunt recomandate datorită riscului de a defecta generatorul în cazul unui defect intern. Mai mult decât atât atunci când generatorul alimentează echipament de siguranță, atunci sistemul nu trebuie să declanșeze la primul defect.*
***(8)*** *Curenții fază-pământ pot fi de câteva ori mai mari decât $I_n$, cu riscul deteriorării sau îmbătrânirii accelerate a înfășurărilor motoarelor, sau distrugerii circuitelor magnetice.*
***(9)*** *Pentru a combina continuitatea în serviciu cu siguranța este recomandat și necesar, oricare ar fi sistemul de tratare a neutrului, să fie separate aceste sarcini de restul instalațiilor (transformatoare cu neutrul acccesibil).*
***(10)*** *Atunci când calitatea receptoarelor nu a constituit o prioritate de proiectare există riscul unei scăderi a rezistenței de izolație. Sistemul TT cu dispozitiv de curent diferențial rezidual este cea mai bună metodă pentru evitarea problemelor.*
***(11)*** *Mobilitatea acestor tipuri de sarcini provoacă defecte frecvente (contacte glisând spre părți legate la pământ sau părți expuse conductoare) care trebuiesc contracarate. Oricare ar fi sistemul de tratare a neutrului, este recomandat să alimentam acest circuit printr-un transformator de separație.*
***(12)*** *Solicită utilizarea unui transformator de separație cu un sistem TN local pentru a evita riscurile de exploatare și declanșările intempestive la primul defect (TT) sau la al doilea defect (IT).*
***(12 bis)*** *Cu o dublă separație în circuitul de comandă.*
***(13)*** *Limitarea excesivă a curentului fază-nul datorată valorii importante a impedanței homopolare (cel puțin de 4-5 ori impedanța directă). Acest sistem trebuie înlocuit cu o tratare stea-triunghi.*
***(14)*** *Curenții de defect ridicați fac sistemul TN periculos. Sistemul TN-C este interzis.*
***(15)*** *Oricare ar fi sistemul dispozitivul diferențial rezidual trebuie reglat la $\Delta i \leqslant 500$ mA.*
***(16)*** *O instalație alimentată la joasă tensiune trebuie să utilizeze sistemul TT. Utilizând acest sistem de tratare a neutrului înseamnă cel puțin menținerea caracteristicilor inițiale (fără cabluri noi, fără aparate de protecție care trebuiesc modificate).*
***(17)*** *Posibilă fără personal de mentenanță foarte competent.*
***(18)*** *Acest tip de instalație solicită atenție deosebită în asigurarea siguranței. Absența unor măsuri preventive în sistemul TN înseamnă personal calificat pentru exploatare.*
***(19)*** *Riscul întreruperii conductoarelor (alimentare, protecție) poate cauza pierderea echipotențialității pentru părțile conductoare expuse. Un sistem TT sau un sistem TN-S cu dispozitiv diferențial rezidual de 30 mA este recomandat și adesea obligatoriu. Sistemul IT poate fi utilizat în cazuri foarte specifice.*
***(20)*** *Soluția evită declanșările intempestive pentru scurgerile de curent neprevăzute.*

***Tab. E17:*** *Influența rețelelor și sarcinilor la selecția sistemului de tratare a neutrului.*

## 1.5 Alegerea și implementarea sistemului de tratare a neutrului

După consultarea reglementărilor locale, a caietelor de sarcini, **Tabelele E16** și **E17** pot fi folosite ca un îndrumar în decizia asupra separării și posibil a izolării galvanice a diverselor secțiuni ale unei instalații electrice.

### Divizarea alimentării

Această tehnică constă în folosirea mai multor transformatoare de puteri reduse în loc de unul singur de mare putere. În acest fel receptoarele care sunt sursa unor perturbații ale rețelei (motoare mari, cuptoare, etc.) pot fi alimentate fiecare din transformatorul propriu.
În acest fel, calitatea și continuitatea alimentării cu energie electrică a întregii instalații se îmbunătățește.
De asemenea și costul aparatelor de comutație este mai redus (nivelul curentului de scurtcircuit este mai mic).
Evaluarea tehnico-economică trebuie făcută pentru fiecare caz în parte.

### Rețele “insulare”

Folosirea transformatoarelor de separație JT/JT permite realizarea unor zone separate galvanic, “insule”, în interiorul rețelei de JT, făcând posibilă optimizarea alegerii sistemului de tratare a neutrului (vezi **Fig. E18** și **Fig. E19**).

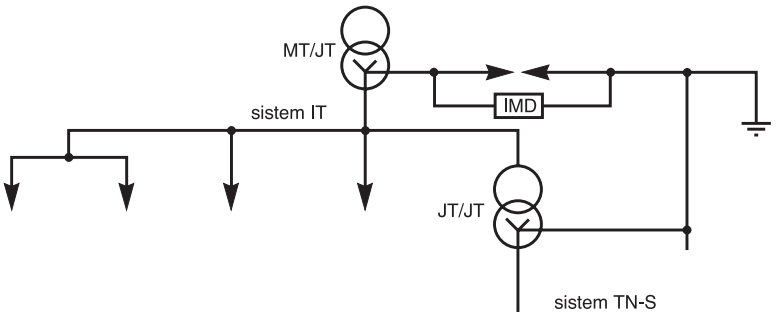



*Fig. E18: Insulă TN-S într-un sistem IT.*

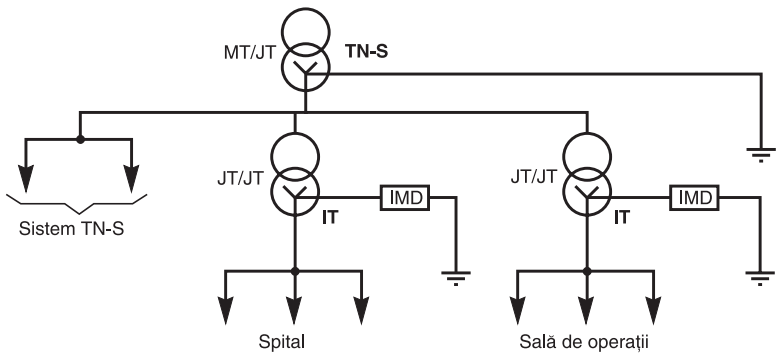



*Fig. E19: Insulă IT într-un sistem TN-S.*

### Concluzii

Optimizarea performanței întregii instalații reprezintă criteriul de alegere a schemei de legare la pământ.
Aceasta include:
- investiții inițiale, și
- cheltuieli operaționale care pot crește în viitor datorită unei fiabilități insuficiente, calității materialelor, siguranței în exploatare, continuității în funcționare, etc.

Aceste elemente sunt în general dificil de prevăzut, în faza inițială.
O structură ideală ar cuprinde sursa de alimentare normală, sursa de alimentare locală de rezervă (vezi punctul 1.4 din capitolul E) și sistemele adecvate de legare la pământ.

## 1.6 Instalarea și măsurarea prizei de pământ

Calitatea unei prize de pământ (rezistența de dispersie cât mai mică posibil) depinde efectiv de doi factori:
- Metoda de instalare;
- Natura solului respectiv.

### Metode de instalare

Vor fi analizate cele trei tipuri obișnuite de instalare:

**Inel conductor îngropat** (vezi **Fig. E20**)
Această soluție este recomandată în special pentru clădirile noi. Priza ar trebui îngropată în jurul excavației pentru fundație. Este important ca bara conductoare să fie în contact direct cu solul (nu plasată în beton sau în pietrișul de la baza acestuia). Cel puțin patru conductoare verticale de la priza de pământ (distanțate între ele) trebuie să asigure legăturile cu instalația electrică; la acestea se leagă câteva dintre armăturile metalice din beton.
Conductorul care formează priza de pământ, în particular când este introdus în excavația pentru fundație, trebuie să fie în pământ cu cel puțin 50 cm mai jos decât betonul fundației. Nici priza de pământ nici conductoarele verticale care fac legătura cu instalația electrică, către parter, nu trebuie să fie în contact cu fundația de beton.
Pentru clădirile existente, priza de pământ trebuie îngropată în jurul peretelui exterior al întregii clădiri, la o adâncime de cel puțin un metru. Ca regulă generală, toate conexiunile verticale de la priza de pământ la etajele superioare trebuie izolate pentru tensiunea nominală pe partea de JT (600 - 1000 V).
Conductoarele pot fi realizate din:
- cupru: cablu masiv (⩾ 25 mm$^2$) sau multifilar (⩾ 25 mm$^2$ și ⩾ 2 mm grosime);
- aluminiu: cablu (⩾ 35 mm$^2$);
- cablu din otel galvanizat : cablu masiv (⩾ 95 mm$^2$) sau multifilar (⩾ 100 mm$^2$ și ⩾ 3 mm grosime).

Rezistența aproximativă R a unui astfel de electrod, în ohmi este:

$$R = \frac{2\rho}{L}$$

unde:
L = lungimea [m] a conductorului îngropat
ρ = rezistivitatea solului [Ω.m] (a se vedea tabelul influența tipului de sol de pe pagina urmatoare).

*O metodă eficientă de obținere a unei rezistențe de dispersie foarte mici a prizei de pământ este să se îngroape un conductor sub formă de buclă închisă în sol, la nivelul excavației pentru fundația clădirii. Rezistența R a unui astfel de electrod (în sol omogen) este dată de relația:* $R = \frac{2\rho}{L}$*, unde:*

*L = lungimea [m] a conductorului îngropat*
*ρ = rezistivitatea solului [Ω m].*

*Pentru n țărusi:* $R = \frac{1}{n}\frac{\rho}{L}$

**Electrozii verticali** (vezi **Fig. E21**)
Electrozii sunt adesea folosiți pentru clădirile existente și pentru îmbunătățirea (reducerea rezistenței) prizei de pământ existente.
Electrozii pot fi facuți din:
- cupru sau oțel acoperit cu cupru. În cel de-al doilea caz lungimea barei poate fi de 1 m sau 2 m. Electrozii sunt prevăzuți cu filet la capăt și contacte demontabile, putând atinge adâncimi considerabile dacă este necesar (de exemplu în funcție de nivelul apei freatice în zonele de sol cu rezistivitate mare).
- țeavă din oțel galvanizat (vezi nota 1 de pe pagina următoare) ⩾ 25 mm diametru sau țărus ⩾ 15 mm diametru, lungime ⩾ 2 metri în fiecare caz.

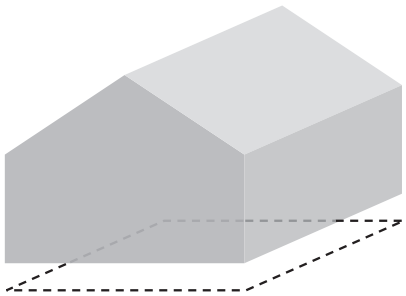
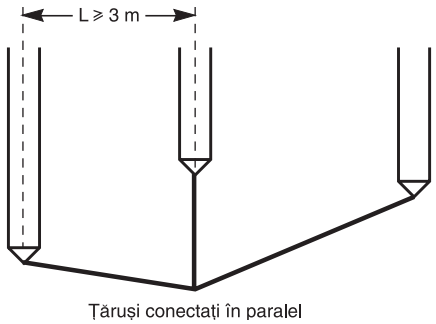


***Fig. E20:*** *Conductor îngropat sub nivelul fundației, dar nu în beton.*




Țăruși conectați în paralel

***Fig. E21:*** *Țăruși de împământare.*

# 1 Scheme de tratare a neutrului



Adesea este necesar să se folosească mai mult de o bară, în care caz, distanța între bare trebuie să fie mai mare decât adâncimea la care sunt introduse cu un factor de 2 până la 3.
Rezistența totală (în sol omogen) este egală cu rezistența unei bare împărțită la numărul total de bare în paralel.
Rezistența aproximativă R în ohmi, dacă distanța dintre electrozi este > 4L este:

$$R = \frac{1}{n}\frac{\rho}{L}$$

unde:
L = lungimea barei în [m]
ρ = rezistivitatea solului în [Ω.m] (a se vedea tabelul influența tipului de sol de mai jos)
n = numărul de electrozi.

*Pentru electrozi verticali sub formă de placă:*

$$R = \frac{0{,}8\ \rho}{L}$$

**Plăci verticale** (vezi **Fig. E22**)
Plăcile rectangulare, având laturile ⩾ 0,5 metri, sunt utilizate în mod obișnuit la realizarea prizelor de pământ, fiind îngropate în plan vertical în așa fel încât centrul de simetrie să fie la cel puțin 1 metru adâncime față de suprafața solului.
Plăcile pot fi fabricate din:
- cupru de 2 mm grosime;
- oțel galvanizat(1) de 3 mm grosime. Rezistența R în [Ω] este dată (aproximativ) de:

$$R = \frac{0{,}8\ \rho}{L}$$

unde:
L = lungimea plăcii în [m]
ρ = rezistivitatea solului în [Ω.m] (a se vedea tabelul influența tipului de sol de mai jos).

*Măsurătorile electrozilor de împământare în diferitele categorii de soluri sunt utile pentru determinarea valorii rezistivității ce trebuie aplicată în proiectarea unui sistem de împământare.*

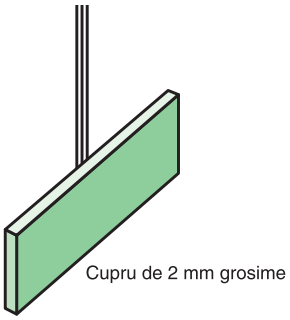



***Fig. E22:*** *Placă verticală.*

## Influența tipului de sol

| Tipul de sol | Valoarea medie a rezistivității în Ωm |
|---|---|
| Teren mlăștinos, mocirlos | 1 - 30 |
| Mal aluvionar | 20 - 100 |
| Humus, pământ vegetal | 10 - 150 |
| Turbărie, turf | 5 - 100 |
| Argilă ușoară | 50 |
| Marnă, argilă compactă | 100 - 200 |
| Marnă jurasică | 30 - 40 |
| Argilă nisipoasă | 50 - 500 |
| Nisip silicios | 200 - 300 |
| Sol stâncos | 1.500 - 3.000 |
| Sol stâncos acoperit cu iarbă | 300 - 500 |
| Sol calcaros | 100 - 300 |
| Piatră calcaroasă | 1.000 - 5.000 |
| Pietriș fin calcaros | 500 - 1.000 |
| Marnă, șist argilos | 50 - 300 |
| Mică, șisturi | 800 |
| Granit și gresie | 1.500 - 10.000 |
| Granit modificat și gresie | 100 - 600 |

***Tab. E23:*** *Rezistivitatea [Ω m] pentru diferite tipuri de sol.*

| Tipul de sol | Valoarea medie a rezistivității în Ωm |
|---|---|
| Sol fertil, umed, compactat | 50 |
| Sol arid, uscat, necompactat | 500 |
| Sol stâncos, foarte uscat, sau pietriș, roci fisurate | 3.000 |

***Tab. E24:*** *Valorile rezistivității medii [Ω.m] pentru un electrod.*

***(1)*** *Atunci când materialele conductoare galvanizate sunt utilizate pentru electrozii de împământare, un anod de sacrificiu pentru protecția catodică poate fi necesar pentru evitarea coroziunii rapide a electrozilor atunci când solul este agresiv. Anozi din aliaj special de magneziu (într-un sac poros umplut cu material cu rezistivitate mică) sunt disponibili pentru conexiunea directă a electrozilor. Pentru utilizarea acestor soluții se recomandă a se consulta un specialist.*

## Măsurători și evoluția în timp a rezistenței dintre o priză de pământ și pământ

**Rezistența de dispersie a unei prize de pământ rămâne rareori constantă**

Principalii factori care afectează această rezistență sunt:

■ Umiditatea solului:

Schimbările sezoniere în conținutul de apă al solului pot fi semnificative la adâncimi până la 2 m.

La o adâncime de un metru valoarea rezistivității ($\rho$) variază în raportul de 1 la 3 între o iarnă umedă și o vară uscată în regiunile temperate.

■ Îngheț:

Înghețarea pământului poate crește rezistivitatea solului cu câteva ordine de mărime. Acesta este unul din motivele de bază care recomandă instalarea prizelor de pământ la adâncime, în special în regiunile reci.

■ Îmbătrânire:

Materialele folosite pentru electrozi își schimbă proprietățile fizico-chimice în timp, din diferite motive, din care amintim:

☐ reacții chimice (în soluri acide sau alcaline),

☐ galvanic: datorită curenților continui vagabonzi din pământ, datorați sistemului de tracțiune electrică, etc. sau datorită diferitelor metale care formează pile electrice elementare, acțiunea diferitelor soluri pe secțiuni ale aceluiași conductor pot forma arii anodice și catodice, cu pierderi de metal la suprafață. Din nefericire, condițiile cele mai favorabile pentru rezistența redusă a prizei de pământ (adică sol cu rezistivitate mică) sunt aceleași în care curenții galvanici pot circula foarte ușor.

■ Oxidarea:

Punctele de îmbinare prin sudură sau alămire sunt cele mai vulnerabile, relativ la oxidare. Măsura preventivă care se poate aplica este de a curăța cu atenție zona de îmbinare și de a o proteja prin diferite metode.

**Măsurarea rezistenței prizei de pământ**

Totdeauna trebuie să se prevadă contacte demontabile sau eclise de separație, care să permită izolarea prizei de pământ de instalație, putând astfel verifica periodic rezistența de dispersie a acesteia. Pentru a face această măsurătoare sunt necesare alte două prize auxiliare, fiecare constând dintr-o bară plasată vertical în sol.

■ Metoda ampermetrică (vezi **Fig. E25**).

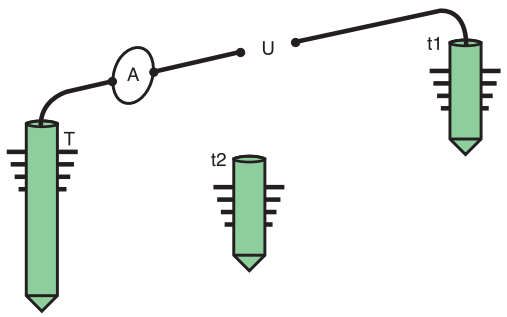



*Fig. E25: Măsurarea rezistenței de dispersie a prizei de pământ prin intermediul unui ampermetru.*

$$A = R_T + R_{t1} = \frac{U_{Tt1}}{i_1}$$

$$B = R_{t1} + R_{t2} = \frac{U_{t1t2}}{i_2}$$

$$C = R_{t2} + R_T = \frac{U_{t2T}}{i_3}$$

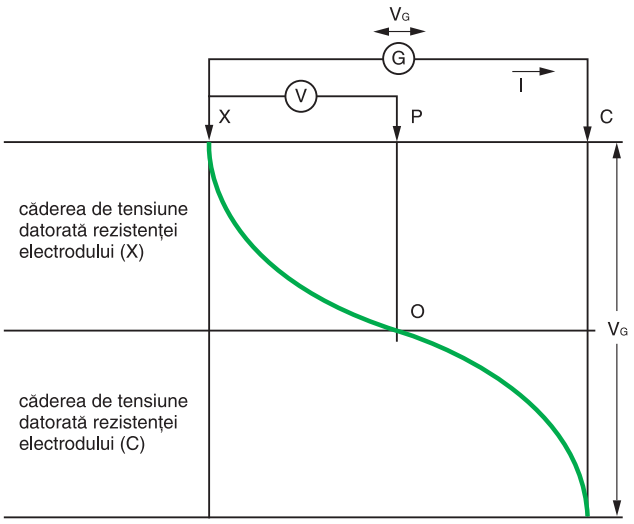
Considerând sursa având tensiunea U constantă, reglată la aceeași valoare pentru fiecare măsurătoare se obține:

$$R_T = \frac{U}{2}\left(\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_3} - \frac{1}{i_2}\right)$$

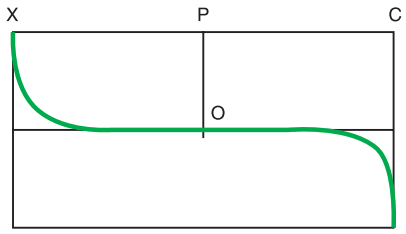
În vederea evitării erorilor datorate curenților vagabonzi din pământ (galvanici (c.c.) sau de scurgere de la rețelele de putere sau de comunicații etc.) curentul de măsurare trebuie să fie alternativ, dar la o frecvență diferită de cea a rețelei sau a armonicilor ei. Instrumentele pentru efectuarea acestor măsurători sunt prevăzute cu generator manual și funcționează cu o tensiune alternativă la frecvențe între 85 Hz și 135 Hz.
Distanțele dintre prizele de pământ nu sunt importante și pot fi considerate în diferite direcții de la priza de măsurat, în funcție de posibilitățile locale. Pentru verificarea rezultatelor este recomandabil un număr de încercări pentru diferite distanțe și direcții.

**Utilizarea unui ohmmetru cu citire directă a rezistenței de dispersie a prizei de pământ**

Aceste instrumente folosesc un generator manual sau electronic de tensiune (de c.a.) împreună cu doi electrozi auxiliari, distanța dintre aceștia trebuie să fie astfel încât zona de influență a prizei de testat să nu se suprapună cu cele aferente electrozilor auxiliari (C). Priza (C) cea mai îndepărtată de priza (X) de măsurat este străbătută de un curent care trece prin (X) și pământ, și ca urmare priza (P) va indica o valoare de tensiune. Această tensiune, măsurată între (X) și (P) este datorată curentului de test și este funcție de rezistența de contact față de pământ (a prizei (X) de măsurat). Este clar că pentru a obține rezultate corecte distanța (X)-(C) trebuie aleasă cu grijă. Dacă distanța (X)-(C) este mărită, zonele de rezistență ale prizelor (X) și (C) devin mai depărtate una față de alta, iar curba potențialului evoluează mai aproape de orizontală, în zona punctului (0).
În măsurătorile practice distanța (X)-(C) este crescută până când citirile aparatelor relativ la priza (P) în trei puncte diferite, anume la (P) și la 5 m de-o parte și de alta a lui (P), dau valori similare. Distanța (X)-(P) este în general 0,68 din distanța (X)-(C).




**a)** principiul măsurătorii este asumarea prezumției de omogenitate a solului. Unde zonele de influență ale electrozilor (C) și (X) coincid, locația electrodului (P) este dificil de determinat pentru obținerea unor rezultate satisfăcătoare.




**b)** aici se arată efectul gradientului de potențial când (X) și (C) sunt la o distanță mare unul de altul. Locația electrodului (P) este în acest caz ușor de determinat.

***Fig. E26:*** *Măsurarea rezistenței de dispersie a prizei de pământ (X) utilizând un ohmmetru cu citire directă.*

*Tablourile de distribuție, inclusiv tabloul general de distribuție de joasă tensiune (TGJT) sunt elemente foarte importante ale unei instalații electrice. Proiectarea și construcția acestora trebuie făcute conform unor standarde bine definite.*

## 2.1 Tablouri de distribuție

Tabloul de distribuție este punctul în care alimentarea cu energie se divide în circuite separate, fiecare din ele fiind comandate și protejate de siguranțe fuzibile sau aparate de comutație. Un tablou de distribuție este compus dintr-un număr de unități funcționale, fiecare conținând toate elementele electrice și mecanice care contribuie la îndeplinirea unei funcții anume. Tabloul și unitățile funcționale reprezintă elemente cheie în siguranța instalației.
În consecință, tipul de tablou electric trebuie perfect adaptat la aplicația sa. Proiectarea și construcția lui trebuie să corespundă atât standardelor aplicabile cât și practicilor curente.

Carcasa tabloului de distribuție furnizează o protecție dublă:
- protecția aparatajului de comutație, aparatelor de măsură, releelor, siguranțelor, etc. împotriva impactului mecanic, vibrațiilor și a celorlalte influențe externe a căror interferență ar afecta siguranța operațională (interferențe electromagnetice, praf, umezeală, paraziți, etc.);
- protecția personalului împotriva posibilului contact direct sau indirect (a se vedea gradele de protecție IP și IK în secțiunea 3.4 a capitolului E).

### Tipuri de tablouri de distribuție

Tablourile de distribuție, pot diferi în funcție de felul aplicației și a principiilor de proiectare adoptate (mai ales în structura și dispunerea barelor colectoare).

*Cerințele consumatorilor determină tipul tabloului de distribuție necesar a fi instalat.*

**Tablouri de distribuție destinate unor aplicații specifice**

Principalele tipuri de tablouri de distribuție sunt:
- tablou general de distribuție de joasă tensiune TGJT (vezi **Fig. E27a**);
- tablou de comandă motoare MCC (Motor Control Center) (vezi **Fig. E27b**);
- tablou de distribuție secundară (vezi **Fig. E28**);
- tablou de distribuție finală (vezi **Fig. E29**).

Tablourile de distribuție pentru aplicații specifice (de exemplu încălzire, ascensoare, procese industriale pot fi amplasate:
- lângă tabloul principal de distribuție generală;
- în apropierea procesului tehnologic comandat.

Tablourile finale și secundare sunt distribuite în perimetrul instalației.

a

b

***Fig. E27:*** ***[a]*** *Tablou general de distribuție de joasă tensiune TGJT (Prisma Plus sistem P) cu sosirea prin bară capsulată -* ***[b]*** *Tablou de comandă motoare MCC (Okken).*

***Fig. E28:*** *Tablou de distribuție secundară (Prisma Plus sistem G)*

a

b

c

***Fig. E29:*** *Tablouri de distribuție finală:* ***[a]*** *Prisma Plus G Pack;* ***[b]*** *Kaedra;* ***[c]*** *Mini-Pragma.*

*Trebuie făcută distincție între:*
- *tablourile de distribuție tradiționale în care aparatele de comutație, siguranțele, etc. sunt fixate pe un șasiu interior, în partea posterioară a carcasei;*
- *tablourile de distribuție funcționale pentru aplicații specifice, bazate pe modularitate și pe o proiectare standardizată.*



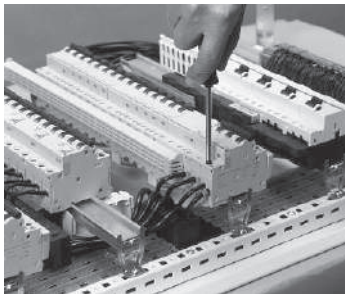


***Fig. E30:*** *Montajul unui tablou de distribuție finală cu unități funcționale fixe (Prisma Plus sistem G).*

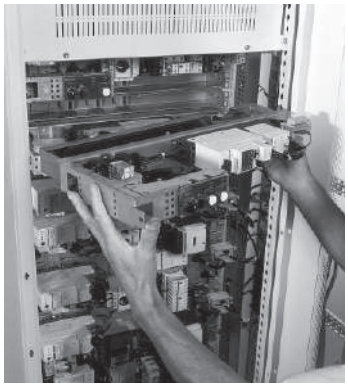


***Fig. E31:*** *Tablou de distribuție cu unități funcționale deconectabile.*

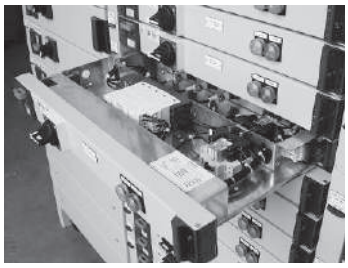


***Fig. E32:*** *Tablou de distribuție cu unități funcționale în sertare debroșabile.*

## Două tehnologii pentru tablourile de distribuție

**Tablourile de distribuție tradiționale**

Aparatele de comutație și siguranțele fuzibile sunt localizate în mod normal pe un șasiu din interiorul carcasei. Dispozitivele indicatoare și de control (aparate de măsură, lămpi, butoane, etc.) sunt montate pe partea din față a tabloului. Amplasarea componentelor în carcasă cere un studiu amănunțit, luând în considerare dimensiunile fiecărui echipament, conexiunile necesare și spațiul aferent pentru a asigura securitatea și funcționarea corectă.

**Tablourile de distribuție funcționale**

Dedicate funcțiunilor specifice, soluțiile sunt bazate pe folosirea modulelor funcționale, care includ aparate de comutație și dispozitive specifice, împreună cu accesorii de montaj și de conexiuni. Proiectarea unui tablou se poate face rapid, deoarece este suficient să se reunească modulele necesare, prevăzând spații în plus pentru elemente care vor fi montate ulterior, în caz de nevoie. Folosind aceste componente prefabricate, asamblarea tabloului se simplifică substanțial asigurând în același timp o siguranță deosebită și o mare capacitate de adaptare la schimbări de ultim moment sau la schimbări ulterioare.

■ Multiple avantaje

Utilizarea tablourilor de distribuție funcționale s-a răspândit treptat la toate nivelurile distribuției electrice de joasă tensiune, de la tabloul general de joasă tensiune TGJT până la tablourile pentru distribuția finală, datorită numeroaselor avantaje:

☐ modularitatea sistemului care face posibilă integrarea a numeroase funcții într-un singur tablou de distribuție, incluzând protecția, controlul, conducerea tehnică și monitorizarea întregii instalații. Designul modular facilitează exploatarea, mentenanța și extinderea tabloului electric,

☐ proiectarea tabloului electric devine foarte simplă deoarece constă pur și simplu în adăugarea de unități funcționale,

☐ componentele prefabricate se montează mult mai rapid,

☐ aceste tablouri de distribuție sunt supuse unor teste de tip pentru asigurarea unui înalt nivel de siguranță.

Noile sisteme de tablouri funcționale Prisma Plus sistem G și P fabricate de Schneider Electric acoperă cerințele până la 3200 A și oferă:

☐ flexibilitate și ușurință în alcătuirea tablourilor de distribuție,

☐ certificarea ca un tablou de distribuție este conform standardului CEI 60439 (adoptat și de România sub numele de SR EN 60439) și asigurarea unui funcționări în condiții de deplină siguranță,

☐ economie de timp în toate etapele, de la proiectare la instalare, exploatare și modificare sau extindere,

☐ adaptare ușoară, de exemplu pentru respectarea standardelor și regulilor de muncă din diferite țări.

**Figurile E27a, E28, E29,** sunt exemple de tablouri de distribuție funcționale la toate nivelurile de putere, în timp ce în **Figura E27b** se arată un tablou funcțional industrial de mare putere.

**Principalele tipuri de unități funcționale**

Există trei tehnologii de bază care sunt utilizate la realizarea tablourilor de distribuție funcționale.

■ Unități funcționale fixe (vezi **Fig. E30**)

Aceste unități nu sunt adaptate pentru separarea galvanică modulară a circuitelor (față de bare, de exemplu) astfel că orice intervenție de mentenanță, modificare etc. cere scoaterea de sub tensiune a întregului tablou. Folosirea aparatajului deconectabil pe șasiu sau debroșabil poate diminua timpii de întrerupere și îmbunătăți disponibilitatea întregii instalații.

■ Unități funcționale deconectabile (vezi **Fig. E31**)

Fiecare unitate funcțională este montată pe o placă de montaj demontabilă prevazută cu elemente de izolare în amonte și cu facilități de deconectare în aval. Această unitate poate fi extrasă pentru operații de service, fără a fi necesară scoaterea de sub tensiune a întregii instalații.

■ Unități funcționale montate în sertare debroșabile (vezi **Fig. E32**)

Aparatele de comutație și accesoriile aferente sunt montate pe un șasiu care permite debroșarea orizontală. Astfel de unități cu funcții complexe sunt folosite în general la protecția și comanda motoarelor electrice.

Izolarea galvanică se realizează atât pentru partea din aval cât și din amonte, prin debroșarea completă a unității respective, permițând înlocuirea rapidă a unității defecte fără scoaterea de sub tensiune a întregii instalații.

*În scopul asigurării unui grad adecvat de siguranță în exploatare este esențială conformitatea cu standardele în vigoare.*

*Trei elemente ale standardului CEI 60439-1 (SR-EN 60439-1) contribuie semnificativ la siguranța în exploatare:*
- *definirea clară a unităților funcționale;*
- *formele de separare între unitățile funcționale adiacente, în concordanță cu cerințele utilizatorului;*
- *definirea clară a încercărilor individuale și de tip.*

## Standarde

**Diferite standarde**

Anumite tipuri de tablouri de distribuție (în special tablourile de distribuție funcționale) trebuie să corespundă standardelor specifice în conformitate cu aplicația sau mediul de funcționare.

Standardul internațional de referință este CEI 60439-1: "Type tested and partialy type tested assemblies", adoptat și în România sub denumirea SR EN 60439-1: "Ansamblu prefabricat, ansamblu prefabricat derivat".

**Standardul CEI 60439-1 (SR EN 60439-1)**

■ Categorii de ansambluri

Standardul face distincție între două tipuri de unități funcționale:

☐ ansambluri prefabricate și pretestate care nu diferă semnificativ de un tip stabilit a cărui conformitate cu standardul a fost demonstrată de testele de tip cerute în standard,

☐ ansambluri pretestate parțial care pot conține tipuri diferite de cele a căror conformitate cu standardul a fost demonstrată de testele de tip cerute în standard.

Atunci când acestea sunt realizate profesional conform instrucțiunilor producătorului de echipament de către personal calificat, ele oferă același nivel de siguranță și calitate.

■ Unități funcționale

Același standard definește unitățile funcționale:

☐ parte a unui ansamblu conținând toate elementele mecanice și electrice care contribuie la îndeplinirea aceleiași funcțiuni,

☐ tabloul de distribuție include unitatea funcțională de intrare și una sau mai multe unități funcționale de plecare, în funcție de cerințele funcționale ale instalației.

Mai mult decât atât, pentru realizarea unui tablou electric se pot folosi unități funcționale fixe, deconectabile sau debroșabile (a se vedea secțiunea 2.1 din capitolul E).

■ Forme de separare (vezi **Fig. E33**)

Separarea unităților funcționale în cadrul ansamblului este asigurată de forme care sunt specificate pentru diferite condiții de funcționare. Diferitele forme de separare sunt numerotate de la 1 la 4 cu variante denumite “a” sau “b”. Fiecare pas înainte (de la 1 la 4) este cumulativ, adică o formă cu număr mai mare conține și caracteristicile unei forme cu număr mai mic. Standardul distinge:

☐ Forma 1: fără separare,

☐ Forma 2: separarea barelor de unitățile funcționale,

☐ Forma 3: separarea barelor de unitățile funcționale și separarea tuturor unităților funcționale una față de alta, cu excepția bornelor de ieșire,

☐ Forma 4: la fel ca Forma 3, dar incluzând separarea între bornele de ieșire ale tuturor unităților.

Decizia asupra alegerii formei de separare rezultă în urma unei înțelegeri între fabricantul de tablouri și utilizator. Sistemul funcțional Prisma Plus oferă soluții pentru formele de separare 1, 2b, 3b, 4a, 4b.

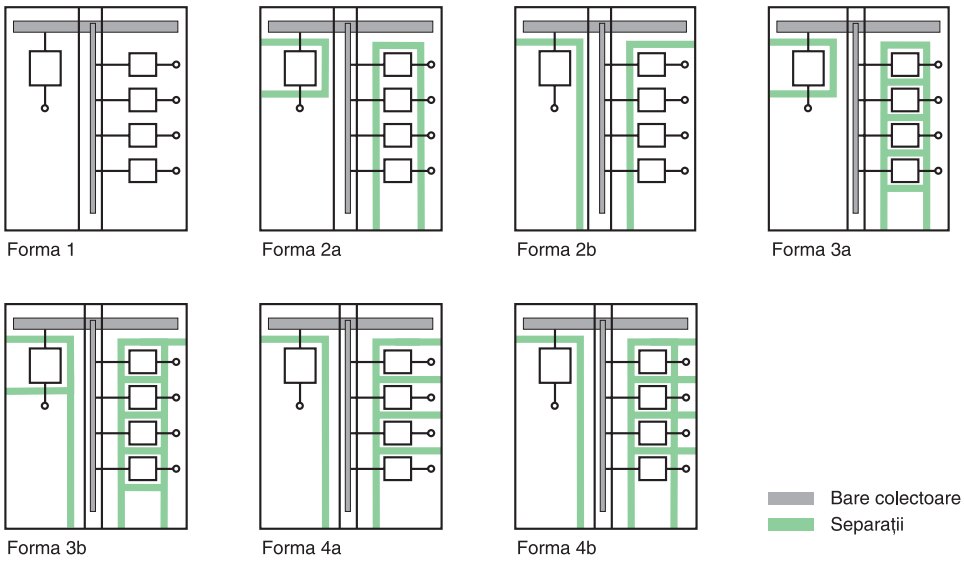



***Fig. E33:*** *Reprezentarea diferitelor forme de separare ale tablourilor de distribuție de joasă tensiune.*

■ Testele de tip și testele de rutină
Acestea asigură conformitatea fiecărui tablou de distribuție cu standardul. Prezența documentelor de test emise de către organisme independente este o garanție pentru utilizatori.

*Accesul nelimitat la informațiile electrice și tablourile de distribuție inteligente sunt acum o realitate.*

### Monitorizarea și controlul instalației electrice

Monitorizarea și controlul de la distanță a instalației electrice nu mai sunt limitate la instalațiile foarte importante. Aceste funcțiuni sunt din ce în ce mai utilizate și conduc la economii considerabile. Avantajele potențiale sunt:
■ reducerea facturilor de energie;
■ reducerea costurilor structurale pentru a menține instalația într-o stare de funcționare corespunzătoare;
■ utilizarea mai bună a investiției, mai ales în ceea ce privește optimizarea duratei de viață a instalației;
■ satisfacția utilizatorilor (dintr-o clădire sau dintr-un proces industrial) generată de fiabilitatea crescută și calitatea energiei.
Posibilitățile enumerate sunt și o opțiune sugerată de calitatea necorespunzătoare a energiei din rețeaua electrică.
Standardul de comunicații Modbus este din ce în ce mai folosit ca un standard deschis de comunicații în interiorul tabloului de distribuție și între tablourile de distribuție și aplicația de monitorizare și control. Modbus există în două forme: două perechi torsadate (RS 485) și Ethernet TCP/IP (IEEE 802.3).
Site-ul web www.modbus.org prezintă toate specificațiile rețelei și actualizează permanent lista produselor și companiilor care utilizează acest standard industrial deschis.
Utilizarea tehnologiilor “web” a contribuit la extinderea acestor aplicații ca urmare a scăderii costurilor accesării funcțiunilor printr-o interfață universală (pagină web) precum și a unui grad de deschidere și evolutivitate care pur și simplu nu exista cu câțiva ani în urmă.



*Două tipuri de distribuție sunt posibile:*
■ *prin conductoare izolate sau cabluri;*
■ *prin bare prefabricate.*

## 2.2 Cabluri și bare capsulate prefabricate

### Distribuția prin conductoare izolate și cabluri

**Definiții**
■ Conductor

Un conductor înseamnă o singură inimă din material metalic înconjurată sau nu de o anvelopă izolantă.
■ Cablu

Un cablu este format dintr-un număr de conductoare, separate electric (izolate) dar unite mecanic, în general printr-o masă protectoare flexibilă.
■ Traseu de cabluri

Traseul de cabluri se referă la conductoare și/sau cabluri montate împreună, inclusiv mijloacele de susținere și de protecție cum ar fi jgheaburi de cabluri, scărițe, tuburi, suporți, ghene, canale, șanțuri, etc.

**Marcarea conductoarelor**
Identificarea conductoarelor trebuie să respecte trei reguli:
■ Regula 1:
Marcajul în dungi verde/galben este rezervat exclusiv conductoarelor de protecție PE sau PEN.
■ Regula 2:
☐ când un circuit include conductor de neutru, acesta trebuie să aibă culoarea albastru deschis (sau marcat cu numărul “1” pentru cabluri multifilare, cu mai mult de 5 conductoare),
☐ când un circuit nu are un conductor de neutru, conductorul albastru deschis poate fi utilizat ca și conductor de fază, dacă este parte a unui cablu cu mai mult de 1 conductor.
■ Regula 3:
Conductoarele de fază pot fi de orice culoare cu excepția:
☐ verde și galben,
☐ verde,
☐ galben,
☐ albastru deschis (vezi regula 2).

Conductoarele dintr-un cablu sunt identificate fie prin culoarea lor fie prin numere (vezi **Fig. E34**).

| Număr de conductoare din circuit | Circuit | Trasee de cabluri fixe | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Conductoare izolate | | | | | Cabluri rigide sau flexibile multiconduuctor | | | | |
| | | Ph | Ph | Pn | N | PE | Ph | Ph | Ph | N | PE |
| 1 | Protecţie sau pământ | | | | | V/G | | | | | |
| 2 | Monofazic între faze | ■ | ■ | | | | BL | LB | | | |
| | Monofazic fază şi neutru | ■ | | | LB | | BL | | | LB | |
| | Monofazic între fază şi neutru + conductor de protecţie | ■ | | | V/G | | BL | | | V/G | |
| 3 | Trifazic fără neutru | ■ | ■ | ■ | | | BL | B | LB | | |
| | 2 faze + neutru | ■ | ■ | | LB | | BL | B | | LB | |
| | 2 faze + conductor de protecţie | ■ | ■ | | | V/G | BL | LB | | | V/G |
| | Monofazic între fază şi neutru + conductor de protecţie | ■ | | | LB | V/G | BL | | | LB | V/G |
| 4 | Trifazic cu neutru | ■ | ■ | ■ | LB | | BL | B | BL | LB | |
| | Trifazic cu neutru + conductor de protecţie | ■ | ■ | ■ | | V/G | BL | B | LB | | V/G |
| | 2 faze + neutru + conductor de protecţie | ■ | ■ | | LB | V/G | BL | B | | LB | V/G |
| | Trifazic + conductor de protecţie PEN | ■ | ■ | ■ | V/G | | BL | B | LB | V/G | |
| 5 | Trifazic + neutru + conductor de protecţie PE | ■ | ■ | ■ | LB | V/G | BL | B | BL | LB | V/G |
| > 5 | | Conductorul de protecţie V/G; Alte conductoare numerotate BL. Numărul “1” este rezervat pentru conductorul neutru dacă există. | | | | | | | | | |

V/G: Galben/Verde BL: Negru ■: Aşa cum este indicat în regula 3 LB: Albastru deschis B: Maro

*Fig. E34: Identificarea conductoarelor în funcţie de tipul circuitului.*

**Notă**: Dacă circuitul include un conductor de protecţie şi cablul disponibil nu are un conductor galben/verde, conductorul de protecţie poate fi:
- un conductor separat galben/verde;
- conductorul albastru dacă circuitul nu are conductor neutru;
- un conductor negru dacă circuitul are conductor neutru.

În ultimele două cazuri conductorul utilizat trebuie marcat cu bandă galben/verde la capete, pe toată lungimea vizibilă a conductorului.
Cablurile de alimentare ale echipamentelor sunt marcate similar cu cablurile multiconductor (vezi **Fig. E35**).

**Distribuţia şi metodele de instalare** (vezi **Fig. E36**)
Distribuţia are loc prin trasee de cabluri care susţin conductoare izolate individuale sau cabluri şi includ un sistem de fixare şi protecţie mecanică.

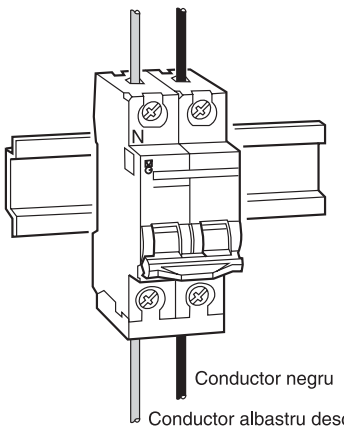



*Fig. E35: Identificarea conductoarelor unui întreruptor automat cu fază şi neutru.*

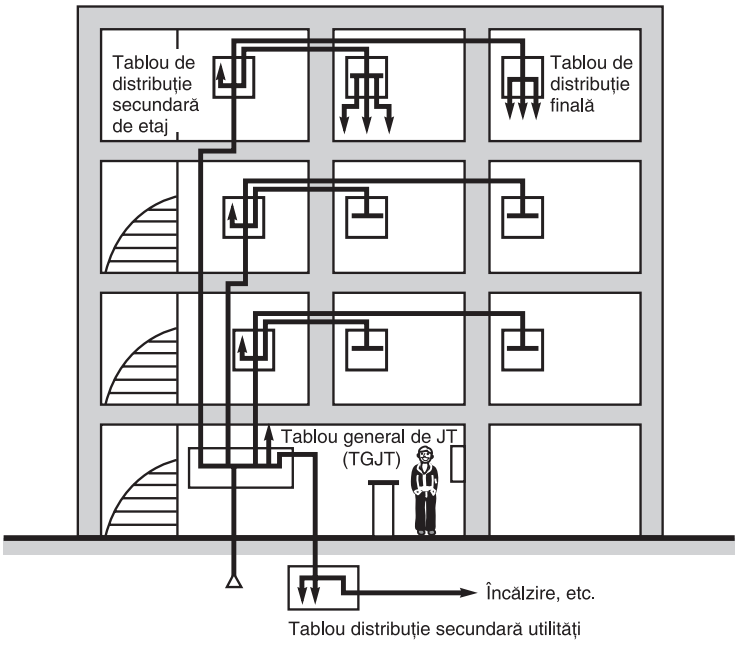

Tablou de distribuţie secundară de etaj
Tablou de distribuţie finală
Tablou general de JT (TGJT)
Încălzire, etc.
Tablou distribuţie secundară utilităţi

*Fig. E36: Distribuţie radială utilizând cabluri într-un hotel.*

*Barele capsulate prefabricate se disting prin usurința în instalare, flexibilitatea și numărul mare de puncte de conectare.*

## Barele capsulate prefabricate

Barele capsulate prefabricate sunt construite pentru distribuția energiei (de la 40 la 5000 A) și iluminat (în cazul acestei aplicații ele au un dublu rol, de alimentare cu energie și de suport fizic al lămpii).

## Componentele unui sistem de bare capsulate prefabricate

Un sistem de de bare capsulate prefabricate este compus dintr-un set de conductori protejați de o carcasă (vezi **Fig. E37**). Utilizate pentru transportul și distribuția energiei electrice sistemele de bare capsulate prefabricate au componentele necesare pentru îndeplinirea acestor funcții: conectori, lungimi, coturi, elemente de fixare, etc. Punctele de derivație plasate la intervale regulate fac energia disponibilă în orice punct al instalației.

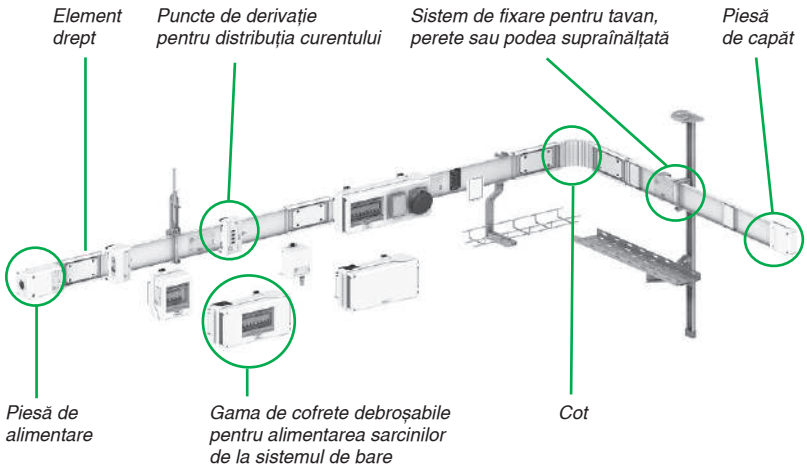

Element drept
Puncte de derivație pentru distribuția curentului
Sistem de fixare pentru tavan, perete sau podea supraînălțată
Piesă de capăt
Piesă de alimentare
Gama de cofrete debroșabile pentru alimentarea sarcinilor de la sistemul de bare
Cot

***Fig. E37:*** *Sistem de bare capsulate prefabricate pentru distribuție de curent de la 25 la 5000 A.*

## Tipuri de bare capsulate prefabricate

Sistemele de bare capsulate prefabricate sunt prezente la toate nivelurile distribuției electrice: de la legătura între transformator și tabloul principal de joasă tensiune (TGJT) până la distribuția la prize și iluminat în birouri sau distribuția de putere în ateliere.

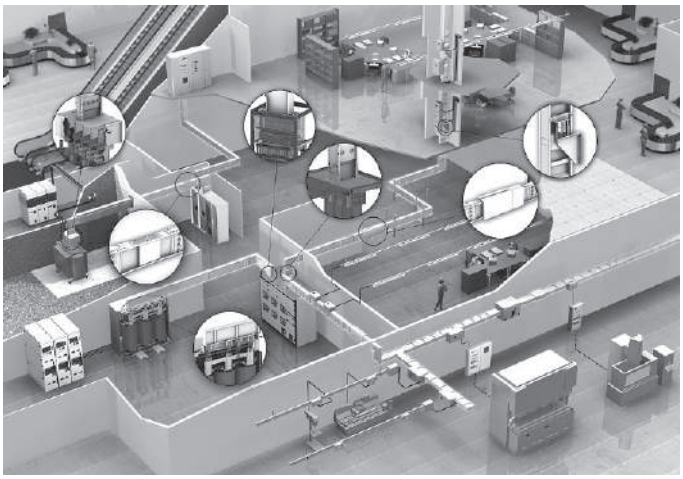


***Fig. E38:*** *Distribuție radială utilizând bare capsulate prefabricate.*

Vorbim aici de o arhitectură distribuită.

În mare există trei categorii de bare capsulate prefabricate.
■ De la transformator către tabloul general de joasă tensiune (TGJT)
Instalarea barei capsulate prefabricate poate fi considerată permanentă și este probabil că nu va fi niciodată modificată. Nu există puncte de derivație. Soluția este frecvent utilizată pentru trasee scurte, pentru curenți mai mari de 1600/2000 A, adică atunci când utilizarea mai multor cabluri în paralel este dificilă. Barele se pot utiliza și pentru legăturile dintre TGJT și tablourile de distribuție din aval.
Caracteristicile barelor capsulate prefabricate pentru distribuția de putere permit a fi utilizate pentru curenții operaționali de la 1000 la 5000 A și sunt stabile la curenții de scurtcircuit de scurtă durată de 150 kA.

■ Pentru distribuție secundară cu densitatea punctelor de derivație mică sau mare
În aval de barele capsulate prefabricate pentru distribuția principală, putem identifica două tipuri de aplicații:
☐ aplicații industriale de dimensiuni medii (ateliere industriale cu prese de injecție și mașini de prelucrat metale sau supermarket-uri cu sarcini importante). Curenții operaționali și curenții de scurtcircuit  pot fi destul de importanți (100 la 1000 A, respectiv 20 la 70 kA),
☐ obiective mici (mici ateliere cu mașini unelte, fabrici de textile cu mașini individuale, supermarket-uri cu sarcini reduse). Curenții operaționali și curenții de scurtcircuit sunt destul de mici (40 la 400 A, respectiv 10 la 40 kA).
Distribuția secundară utilizând bare capsulate prefabricate răspunde la următoarele cerințe ale utilizatorilor:
☐ modificări și evoluții facile ale instalației datorită existenței unui număr ridicat de trape de derivație,
☐ continuitate în serviciu, prin posibilitatea conectării sub tensiune a cofretelor de derivație în condiții de deplină siguranță.
Conceptul de subdistribuție este aplicabil, de asemenea, pentru distribuția cu coloane verticale între 100 și 5000 A în clădirile cu mai multe etaje.

■ Distribuție de iluminat
Circuitele de iluminat pot fi distribuite utilizând bare capsulate prefabricate care pot asigura sau nu susținerea corpurilor de iluminat.
☐ barele capsulate prefabricate proiectate pentru susținerea corpurilor de iluminat
Aceste bare capsulate prefabricate alimentează și susțin corpurile de iluminat (reflectoare industriale, lămpi cu descărcare, etc.). Ele sunt utilizate în clădirile industriale, supermarket-uri, magazine universale și depozite. Barele capsulate prefabricate sunt extrem de rigide și au fost proiectate pentru unul sau două circuite de 25 sau 40 A. Trapele de derivație se găsesc la fiecare 1,5 m.
☐ barele capsulate prefabricate care nu pot susține corpurile de iluminat
Similare cu sistemele de cabluri prefabricate, aceste bare sunt utilizate pentru alimentarea tuturor tipurilor de corpuri de iluminat fixate de structura clădirii. Ele sunt utilizat în clădirile comerciale (birouri, magazine, restaurante, hoteluri, etc.), în special în tavanele false. Barele sunt flexibile și proiectate pentru un circuit de 20 A. Trapele de derivație se găsesc la fiecare 1,5 m sau 3 m.
Sistemele de bare capsulate prefabricate îndeplinesc cerințele unui număr important de clădiri.
■ Clădiri industriale: garaje, ateliere, ferme, centre logistice, etc.;
■ Clădiri comerciale: magazine, centre comerciale, supermarket-uri, hoteluri, etc.;
■ Clădiri terțiare: birouri, școli, spitale, săli de sport, vapoare de croazieră, etc.

## Standarde

Barele capsulate prefabricate trebuie să îndeplinească regulile stabilite de CEI 60439-2.
Acesta definește cerințele impuse fabricantului în proiectarea unui sistem de bare capsulate prefabricate (de exemplu creșterea temperaturii, ținere la scurtcircuit, rezistență mecanică, etc.) precum și metodele de testare necesare.
Standardul CEI 60439-2 definește 13 teste de tip obligatorii asupra componentelor sistemului.
Prin asamblarea elementelor sistemului pe șantier, în acord cu instrucțiunile de montaj, va rezulta un sistem conform cu standardul.

## Avantajele sistemelor de bare capsulate prefabricate

**Flexibilitate**
■ Configurație ușor de modificat (modificările pe șantier pentru schimbarea liniilor de producție, reconfigurarea sau extinderea spațiului, etc.);
■ Componente reutilizabile (componentele rămân intacte): când o instalație este supusă unei modificări majore, bara capsulată este pur și simplu demontată și reutilizată;
■ Disponibilitatea energiei oriunde în instalație (posibilitatea de a avea o trapă de derivație la fiecare metru);
■ O gamă largă de cofrete de derivație.

**Simplitate**
- Proiectarea poate fi făcută independent de distribuția și amplasarea receptoarelor;
- Performanțele sunt independente de implementare; în cazul cablurilor trebuiesc aplicați mai mulți coeficienți de declasare;
- Sistem de distribuție clar;
- Reducerea timpului de instalare; utilizarea sistemelor de bare capsulate prefabricate permite reducerea timpului de instalare cu până la 50% față de metoda tradițională cu cabluri;
- Garanția fabricantului;
- Timp de execuție controlat: conceptul de bare capsulate prefabricate elimină surprizele neașteptate la montaj. Timpul de montaj este precis și cunoscut în avans și orice problemă apărută poate fi rezolvată cu operativitate;
- Ușor de implementat; componentele modulare sunt ușor de manevrat, rapid și simplu de montat.

**Fiabilitate**
- Componente de încredere fiind fabricate în uzină;
- Componentele previn asamblarea greșită;
- Asamblarea secvențială a componentelor drepte și cofretelor de derivație elimină posibilitatea erorilor.

**Continuitatea în serviciu**
- Numărul mare de trape de derivație ușurează alimentarea cu energie electrică a unui nou consumator. Conectarea și deconectarea este rapidă și poate fi executată în siguranță fără scoaterea de sub tensiune a instalației. Cele două operații (adăugare sau modificare) au loc deci cu instalația în funcțiune.
- Depistare a defectului ușoară și rapidă deoarece consumatorii sunt aproape de traseu.
- Mentenanță inexistentă sau extrem de redusă.

**Contribuție majoră la dezvoltarea durabilă**
- Sistemele de bare capsulate prefabricate permit combinarea circuitelor. Comparând cu soluția tradițională de distribuție în cablu, consumul de cupru și de izolatori ca materie primă este de trei ori mai mic datorită conceptului de rețea distribuită (vezi **Fig. E39**);

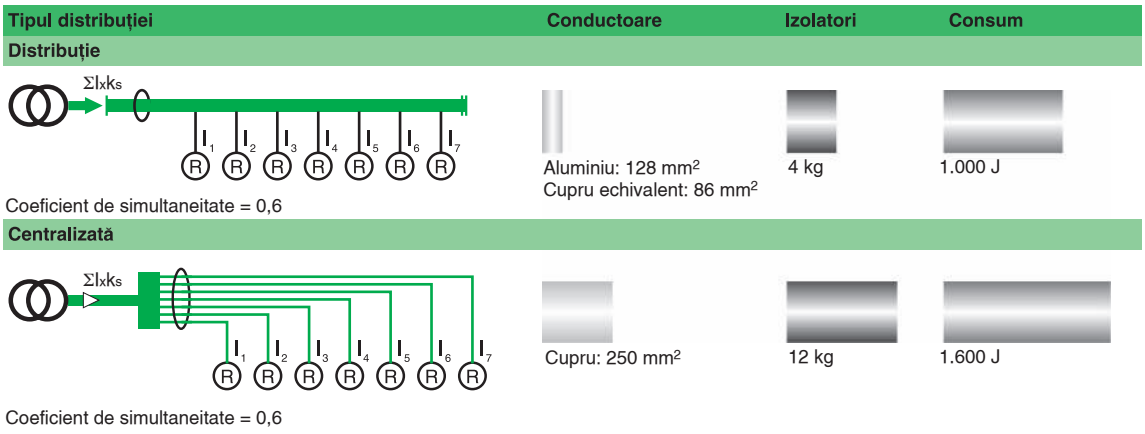



*Fig. E39: Exemplu: 30 m de Canalis KS 250 A echipat cu plecări de 10 și 25 A, 4 poli.*

- Elemente reutilizabile și ansamblul componentelor deplin reciclabile;
- Nu conțin PVC și nu generează gaze toxice sau deșeuri;
- Reducerea riscului datorat expunerii la câmpuri electromagnetice.

## Noi caracteristici funcționale pentru Canalis

Sistemele de bare capsulate prefabricate devin din ce în ce mai bune. Printre noile caracteristici găsim:
- performanțe crescute cu gradul de protecție IP 55 și noi calibre de la 160 până la 1000 A (KS);
- noi oferte pentru elemente precablate de iluminat;
- noi accesorii de fixare, sisteme rapide, suporturi comune pentru circuitele VDI.

**Sistemele de bare capsulate prefabricate integrate în mediul ambiant**
- Culoare albă pentru intensificarea mediului de lucru, integrată natural în gama produselor de distribuţie electrică;
- Conformitatea cu normele europene de reducere a substanţelor periculoase (directiva RoHS).

## Exemple de bare capsulate prefabricate Canalis

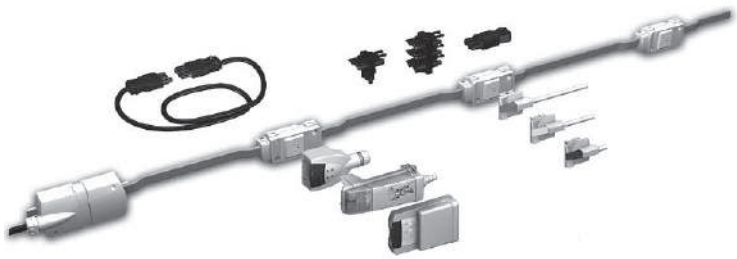


***Fig. E40:*** *Bară capsulată prefabricată flexibilă pentru distribuţie de iluminat pentru corpuri de iluminat suspendate separat: Canalis KDP (20 A).*

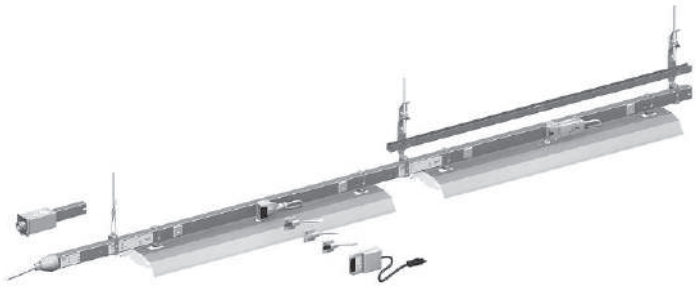


***Fig. E41:*** *Bară capsulată prefabricată pentru distribuţie de iluminat cu susţinerea corpurilor de iluminat: Canalis KBA şi KBB (25 la 40 A).*

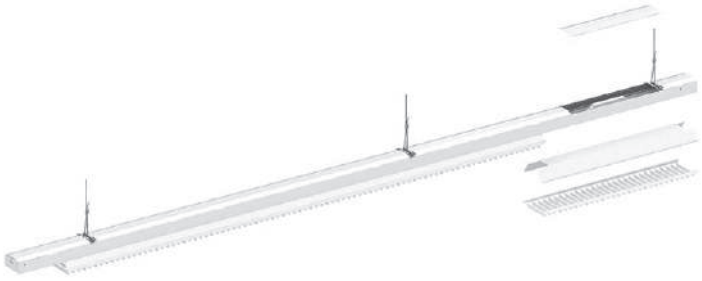


***Fig. E42:*** *Şir luminos: Canalis KBX (20 A).*

***Fig. E43:*** *Bară capsulată prefabricată pentru distribuţie de mică şi medie putere: Canalis KN (40 la 160 A).*

# 2 Sisteme de instalare

*Fig. E44: Bară capsulată prefabricată pentru distribuţie de putere medie: Canalis KS (100 la 1000 A).*

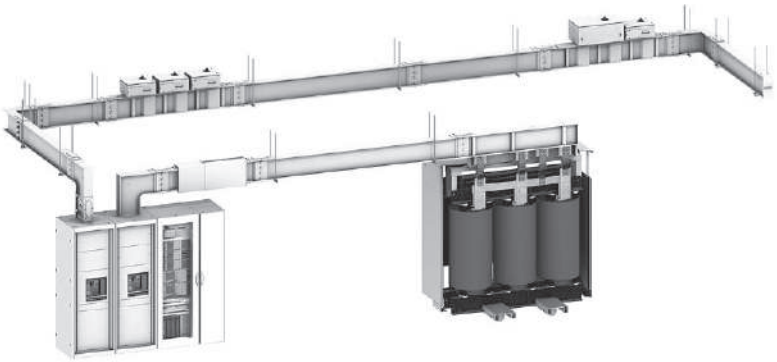


*Fig. E45: Bară capsulată prefabricată pentru distribuţie de mare putere: Canalis KT (1000 la 5000 A).*

Pentru configurarea instalaţiilor de bare capsulate prefabricate Canalis sunt disponibile, în limba română, următoarele programe de calcul:
- CanFAST 3.0 pentru iluminat, puteri mici şi medii;
- CanBRASS 6.0 pentru toată gama de puteri;
- CanCAD 4.0 pentru puteri medii şi mari. Acest soft funcţionează sub AutoCAD.

# 3 Influenţe externe (CEI 60364-5-51)

*Influenţele externe trebuiesc luate în considerare când se aleg:*
- *măsurile specifice de asigurare a securităţii persoanelor (în particular în zone sau instalaţii electrice cu caracter special);*
- *caracteristicile echipamentului electric cum ar fi gradul de protecţie IP, rezistenţa mecanică IK, etc.*

## 3.1 Definiţii şi standarde de referinţă

Fiecare instalaţie electrică este plasată într-un mediu specific, care prezintă, într-o măsură mai mare sau mai mică, un anumit risc:
- pentru persoane;
- pentru echipamentele care constituie instalaţia.

În consecinţă, condiţiile de mediu influenţează definirea parametrilor şi alegerea materialelor specifice instalaţiei, precum şi alegerea măsurilor de protecţie adecvate pentru securitatea persoanelor.
Condiţiile de mediu ale unei instalaţii electrice se exprimă prin sintagma “influenţe externe”.
Multe standarde naţionale, referitoare la influenţele externe, includ o schemă de clasificare care este bazată sau este foarte asemănătoare, cu standardul internaţional CEI 60364-5-51.

*Dacă mai multe influenţe externe intervin în acelaşi timp, ele pot avea efecte independente sau se pot influenţa reciproc aşa încât gradul de protecţie trebuie ales în consecinţă.*

## 3.2 Clasificare

Fiecare condiţie de influentă externă este indicată de un cod care cuprinde un grup de două litere majuscule şi un număr, după cum urmează:

**Prima literă (A, B sau C)**
Prima literă este legată de categoria generală de influenţă externă.
- A = mediu ambiant;
- B = utilizare;
- C = tip de construcţie al clădirilor respective.

**A doua literă**
A doua literă este legată de natura influenţei exteme.

**Numărul**
Numărul se referă la clasa din care face parte fiecare influenţă extemă.

**Litera adiţională (opţional)**
Utilizată numai dacă protecţia efectivă a persoanelor este mai mare decât cea indicată de prima cifră din codul IP.
Atunci când trebuie specificată numai protecţia persoanelor, cele două cifre ale codului IP sunt înlocuite de X-uri.
Exemplu: IP XXB

**Exemplu**
AC2 înseamnă:
A = mediu
AC = mediu-altitudine
AC2 = mediu-altitudine > 2000 m

## 3.3 Lista influenţelor externe

**Tabelul E46** de mai jos este extras din CEI 60364-5-51, care este documentul de referinţă în astfel de situaţii.

| Cod | Influenţe externe | | | Caracteristici necesare pentru echipament |
|---|---|---|---|---|
| **A - Mediu** | | | | |
| **AA** | **Temperatura ambientă (°C)** | | | |
| | Minim | Maxim | | Echipament proiectat special sau măsuri corespunzătoare |
| AA1 | - 60° C | + 5° C | | |
| AA2 | - 40° C | + 5° C | | |
| AA3 | - 25° C | + 5° C | | |
| AA4 | - 5° C | + 40° C | | Normal (precauţii speciale în anumite cazuri) |
| AA5 | + 5° C | + 40° C | | Normal |
| AA6 | + 5° C | + 60° C | | Echipament proiectat special sau măsuri corespunzătoare |
| AA7 | - 25° C | + 55° C | | |
| AA8 | - 50° C | + 40° C | | |

***Tab. E46:*** *Lista influenţelor externe (din Anexa A a CEI 60364-5-51) (se continuă pe pagina următoare)*

# 3 Influențe externe (CEI 60364-5-51)



| Cod | Influențe externe | | | | | | Caracteristici necesare pentru echipament |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **A - Mediu** | | | | | | | |
| **AB** | **Temperatura ambientă (°C)** | | | | | | |
| | Temperatură aer °C | | Umiditate relativă % | | Umiditate absolută g/m³ | | |
| | Low | High | Low | High | Low | High | |
| AB1 | - 60° C | + 5° C | 3 | 100 | 0,003 | 7 | Trebuiesc luate măsuri corespunzătoare |
| AB2 | - 40° C | + 5° C | 10 | 100 | 0,1 | 7 | |
| AB3 | - 25° C | + 5° C | 10 | 100 | 0,5 | 7 | |
| AB4 | - 5° C | + 40° C | 5 | 95 | 1 | 29 | Normal |
| AB5 | + 5° C | + 40° C | 5 | 85 | 1 | 25 | Normal |
| AB6 | + 5° C | + 60° C | 10 | 100 | 1 | 35 | Trebuiesc luate măsuri corespunzătoare |
| AB7 | - 25° C | + 55° C | 10 | 100 | 0.5 | 29 | |
| AB8 | - 50° C | + 40° C | 15 | 100 | 0.04 | 36 | |
| **AC** | **Altitudine** | | | | | | |
| AC1 | ⩽ 2000 m | | | | | | Normal |
| AC2 | > 2000 m | | | | | | Poate necesita precauții (declasare) |
| **AD** | **Prezența apei** | | | | | | |
| AD1 | Neglijabilă | | Exterior sau locații neprotejate la intemperii | | | | IPX0 |
| AD2 | Stropi în cădere liberă | | | | | | IPX1 sau IPX2 |
| AD3 | Pulverizare | | | | | | IPX3 |
| AD4 | Împroșcare | | | | | | IPX4 |
| AD5 | Jeturi | | Locații unde un furtun cu apă este folosit regulat | | | | IPX5 |
| AD6 | Valuri | | Locații litorale (diguri, cheiuri, plaje, etc.) | | | | IPX6 |
| AD7 | Imersie | | Apă 150 mm deasupra celui mai înalt punct și echipamentul la mai puțin de 1 m de suprafață | | | | IPX7 |
| AD8 | Submersie | | Echipamentul este permanent și total acoperit | | | | IPX8 |
| **AE** | **Prezența corpurilor străine solide** | | | | | | |
| | | | Cele mai mici dimensiuni | | Exemplu | | |
| AE1 | Neglijabilă | | | | | | IP0X |
| AE2 | Obiecte mici | | 2,5 mm | | Scule | | IP3X |
| AE3 | Obiecte foarte mici | | 1 mm | | Sârmă | | IP4X |
| AE4 | Praf nu prea dens | | | | | | IP5X dacă penetrarea prafului nu împiedică funcționarea |
| AE5 | Praf moderat | | | | | | IP6X dacă praful nu trebuie să penetreze |
| AE6 | Praf dens | | | | | | IP6X |
| **AF** | **Prezența substantelor corozive sau poluante** | | | | | | |
| AF1 | Neglijabilă | | | | | | Normal |
| AF2 | Atmosferică | | | | | | În funcție de natura substanței |
| AF3 | Intermitentă, accidental | | | | | | Protecție împotriva coroziunii |
| AF4 | Continuă | | | | | | Echipament proiectat special |
| **AG** | **Reacția la impact mecanic** | | | | | | |
| AG1 | Severitate scăzută | | | | | | Normal |
| AG2 | Severitate medie | | | | | | Standard (daca este aplicabil) sau echip. pregătite special |
| AG3 | Severitate ridicată | | | | | | Protecție crescută |
| **AH** | **Vibrații** | | | | | | |
| AH1 | Severitate scăzută | | Aplicații casnice sau similare | | | | Normal |
| AH2 | Severitate medie | | Condiții industriale normale | | | | Echipament proiectat special sau măsuri speciale |
| AH3 | Severitate ridicată | | Condiții industriale severe | | | | |
| **AJ** | **Alte solicitări mecanice** | | | | | | |
| **AK** | **Prezența florei și/sau mucegaiului** | | | | | | |
| AH1 | Fără riscuri | | | | | | Normal |
| AH2 | Cu riscuri | | | | | | |
| **AL** | **Prezența faunei** | | | | | | |
| AH1 | Fără riscuri | | | | | | Normal |
| AH2 | Cu riscuri | | | | | | |
| **AM** | **Influențe electromagnetice, electrostatice sau ionizări / Fenomene electromagnetice de joasă frecvență / Armonici** | | | | | | |
| AM1 | Armonici | | | | | | A se referi la standardele CEI aplicabile |
| AM2 | Tensiune de semnalizare | | | | | | |
| AM3 | Variații ale amplitudinii tensiunii | | | | | | |
| AM4 | Dezechilibre ale tensiunii | | | | | | |
| AM5 | Variații ale frecvenței | | | | | | |
| AM6 | Tensiuni induse de joasă frecvență | | | | | | |
| AM7 | Curent continuu în rețelele de curent alternativ | | | | | | |
| AM8 | Câmpuri magnetice | | | | | | |
| AM9 | Câmpuri electrice | | | | | | |
| AM21 | Oscilații de tensiuni sau curenți induși | | | | | | |

***Tab. E46:*** *Lista influențelor externe (din Anexa A a CEI 60364-5-51) (se continuă pe pagina următoare)*

| Cod | Influenţe externe | Caracteristici necesare pentru echipament |
|---|---|---|
| **A - Mediu** | | |
| AM22 | Fenomene tranzitorii pe scala de nanosecunde | A se referi la standardele CEI aplicabile |
| AM23 | Fenomene tranzitorii pe scala de milisecunde | |
| AM24 | Fenomene tranzitorii oscilante | |
| AM25 | Fenomene de înaltă frecvenţă | |
| AM31 | Descărcări electrostatice | |
| AM41 | Ionizări | |
| **AN** | **Radiaţii solare** | |
| AN1 | Slabe | Normal |
| AN2 | Medii | |
| AN3 | Puternice | |
| **AP** | **Efect seismic** | |
| AP1 | Negligabil | Normal |
| AP2 | Slab | |
| AP3 | Mediu | |
| AP4 | Puternic | |
| **AQ** | **Trăsnete** | |
| AQ1 | Neglijabil | Normal |
| AQ2 | Expunere indirectă | |
| AQ3 | Expunere directă | |
| **AR** | **Mişcarea aerului** | |
| AQ1 | Slabă | Normal |
| AQ2 | Medie | |
| AQ3 | Puternică | |
| **AS** | **Vânt** | |
| AQ1 | Slab | Normal |
| AQ2 | Mediu | |
| AQ3 | Puternic | |
| **B - Utilizare** | | |
| **BA** | **Calificarea persoanelor** | |
| BA1 | Obişnuită | Normal |
| BA2 | Copii | |
| BA3 | Handicapaţi | |
| BA4 | Instruiţi | |
| BA5 | Calificaţi | |
| **BB** | **Rezistenţa electrică a corpului uman** | |
| **BC** | **Contactul persoanelor cu potenţialul pământului** | |
| BC1 | Nici unul | Clasă de echipament corespunzătoare cu CEI 61140 |
| BC2 | Rar | |
| BC3 | Frecvent | |
| BC4 | Continuu | |
| **BD** | **Condiţii de evacuare în caz de urgenţă** | |
| BD1 | Joasă densitate/ieşire accesibilă | Normal |
| BD2 | Joasă densitate/ieşire dificilă | |
| BD3 | Înaltă densitate/ieşire accesibilă | |
| BD4 | Înaltă densitate/ieşire dificilă | |
| **BE** | **Natura materialelor procesate sau depozitate** | |
| BE1 | Fără risc semnificativ | Normal |
| BE2 | Risc de incendiu | |
| BE3 | Risc de explozie | |
| BE4 | Risc de contaminare | |
| **C - Construcţia de clădiri** | | |
| **CA** | **Materialele de construcţie** | |
| CA1 | Necombustibile | Normal |
| CA2 | Combustibile | |
| **CB** | **Proiectarea clădirilor** | |
| CB1 | Riscuri neglijabile | Normal |
| CB2 | Propagarea incendiului | |
| CB3 | Mişcare | |
| CB4 | Flexibil sau instabil | |

*Tab. E46: Lista influenţelor externe (din Anexa A a CEI 60364-5-51) (sfârşit)*

## 3.4 Grade de protecție pentru echipament: codurile IP și IK

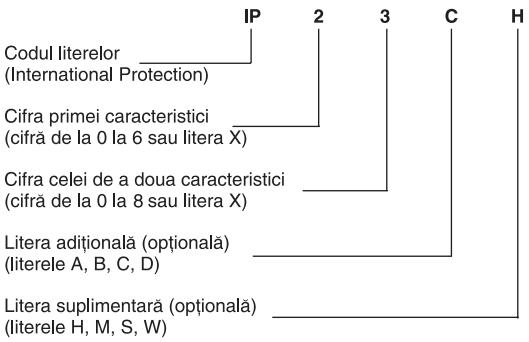
### Definiția codurilor IP (vezi **Fig. E47**)

Gradul de protecție furnizat de o carcasă este indicat de codul IP recomandat de CEI 60529.
Protecția se referă la următoarele influențe externe:
- penetrarea corpurilor solide;
- protecția persoanelor împotriva accesului la părțile sub tensiune;
- protecția împotriva pătrunderii prafului;
- protecția împotriva pătrunderii lichidelor.

***Notă:*** *codul IP se aplică la echipament electric pentru tensiuni de maxim 72,5 kV inclusiv.*

### Elemente ale codurilor IP și semnificația lor

O scurtă descriere a elementelor codurilor IP este dată în tabela de mai jos (vezi **Tab. E48**).


IP 2 3 C H
Codul literelor (International Protection)
Cifra primei caracteristici (cifră de la 0 la 6 sau litera X)
Cifra celei de a doua caracteristici (cifră de la 0 la 8 sau litera X)
Litera adițională (opțională) (literele A, B, C, D)
Litera suplimentară (opțională) (literele H, M, S, W)

Atunci când cifra caracteristică nu este necesar a fi specificată, ea poate fi înlocuită prin litera „X" („XX" dacă amandouă cifrele caracteristice nu sunt necesare. Literele adiționale și/sau suplimentare pot fi omise fără înlocuire.

***Fig. E47:*** *Secvența codului IP.*

| Element | Cifre sau litere | Semnificația pentru protecția echipamentului | Semnificația pentru protecția persoanelor |
|---|---|---|---|
| **Codul literei** | **IP** | | |
| **Cifra primei caracteristici** | | **Împotriva pătrunderii corpurilor străine solide** | **Împotriva accesului la părțile periculoase cu** |
| | **0** | (neprotejat) | (neprotejat) |
| | **1** | diametru ⩾ 50 mm | Dosul palmei |
| | **2** | diametru ⩾ 12,5 mm | Degetul |
| | **3** | diametru ⩾ 2,5 mm | Unealtă |
| | **4** | diametru ⩾ 1,0 mm | Sârmă |
| | **5** | Protejat la praf | Sârmă |
| | **6** | Etanș | Sârmă |
| **Cifra celei de-a doua caracteristici** | | **Împotriva pătrunderii apei cu efecte nedorite** | |
| | **0** | (neprotejat) | |
| | **1** | Picături verticale | |
| | **2** | Picături, unghi de 15° | |
| | **3** | Pulverizare | |
| | **4** | Împroșcare | |
| | **5** | Jet de apă | |
| | **6** | Jet puternic | |
| | **7** | Imersie temporară | |
| | **8** | Imersie continuă | |
| **Litera adițională (opțional)** | | | **Împotriva accesului la părțile periculoase cu** |
| | **A** | | Dosul palmei |
| | **B** | | Degetul |
| | **C** | | Unealtă |
| | **D** | | Sârmă |
| **Litera suplimentară (opțional)** | | **Informații suplimentare specifice:** | |
| | **H** | Aparate de înaltă tensiune | |
| | **M** | Mișcări în cursul testului cu apă | |
| | **S** | Staționar în cursul testului cu apă | |
| | **W** | Condițiile meteo | |

***Tab. E48:*** *Elemente ale codului IP.*

## Definiția codurilor IK

Standardul CEI 62262 definește codurile IK care caracterizează capacitatea unui echipament de a rezista la impact mecanic pe toate părțile (vezi **Tab. E49**).

| Codul IK | Energia de impact (în Joules) | Codul AG |
|---|---|---|
| **00** | 0 | |
| **01** | ⩽ 0,14 | |
| **02** | ⩽ 0,20 | AG1 |
| **03** | ⩽ 0,35 | |
| **04** | ⩽ 0,50 | |
| **05** | ⩽ 0,70 | |
| **06** | ⩽ 1 | |
| **07** | ⩽ 2 | AG2 |
| **08** | ⩽ 5 | AG3 |
| **09** | ⩽ 10 | |
| **10** | ⩽ 20 | AG4 |

*Tab. E49: Elemente ale codului IK.*



## Specificarea codurilor IP și IK pentru tablourile de distribuție

Gradele de protecție IP și IK ale unei carcase trebuie specificate în funcție de diversele influențe externe definite de standardul CEI 60364-5-51, în particular:

- prezența corpurilor solide (codul AE);
- prezența apei (codul AD);
- solicitările mecanice (fără cod);
- calificarea persoanelor (codul BA);
- ...

Tablourile de distribuție Prisma Plus sunt destinate pentru instalații interioare. Dacă regulile, standardele, reglementările unei anumite țări nu specifică altfel, Schneider Electric recomandă următoarele valori pentru IP și IK (vezi **Tab. E50** și **Tab. E51**).

### Recomandări pentru IP

| Codurile IP în funcție de condiții | | |
|---|---|---|
| Normal, fără riscul căderii verticale a apei | Camere tehnice | 30 |
| Normal, cu riscul căderii verticale a apei | Coridoare | 31 |
| Risc sever de apă împroșcată în toate direcțiile | Ateliere | 54/55 |

*Tab. E50: Recomandări pentru IP.*

### Recomandări pentru IK

| Codurile IK în funcție de condiții | | |
|---|---|---|
| Fără risc de impact major | Camere tehnice | 07 |
| Risc semnificativ de impact major ce ar putea afecta aparatele | Coridoare | 08 (carcasă cu ușă) |
| Risc maxim de impact ce ar putea afecta carcasa | Ateliere | 10 |

*Tab. E51: Recomandări pentru IK.*

# Capitolul F
# Protecția împotriva șocurilor electrice

## Cuprins


**1 General** F2
1.1 Șocul electric F2
1.2 Protecția împotriva șocului electric F3
1.3 Contactul direct și indirect F3

**2 Protecția împotriva contactului direct** F4
2.1 Măsuri împotriva contactului direct F4
2.2 Măsuri suplimentare de protecție împotriva contactului direct F5

**3 Protecția împotriva contactului indirect** F6
3.1 Măsuri de protecție prin deconectarea automată a sursei de alimentare F6
3.2 Deconectarea automată în cazul sistemelor TT F7
3.3 Deconectarea automată în cazul sistemelor TN F8
3.4 Deconectarea automată la al doilea defect în cazul sistemelor IT F10
3.5 Măsuri de protecție împotriva contactelor directe și indirecte fără deconectarea automată a sursei de alimentare F13

**4 Protecția bunurilor în cazul defectelor de izolație** F17
4.1 Măsuri de protecție împotriva riscului de incendiu cu ajutorul dispozitivelor de curent diferențial rezidual (RCD) F17
4.2 Protecția împotriva defectelor de punere la pământ F17

**5 Implementarea sistemului TT** F19
5.1 Măsuri de protecție F19
5.2 Tipuri de dispozitive de curent diferențial rezidual F20
5.3 Coordonarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual F22

**6 Implementarea sistemului TN** F25
6.1 Condiții preliminare F25
6.2 Protecția împotriva contactelor indirecte F25
6.3 Dispozitive de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate F29
6.4 Protecția în zonele cu risc crescut de incendiu F30
6.5 Cazul în care impedanța buclei de defect este de valoare mare F30

**7 Implementarea sistemului IT** F31
7.1 Condiții preliminare F31
7.2 Protecția împotriva contactelor indirecte F32
7.3 Dispozitive de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate F36
7.4 Protecția în zonele cu risc crescut de incendiu F37
7.5 Cazul în care impedanța buclei de defect este de valoare mare F37

**8 Dispozitive de curent diferențial rezidual (RCD)** F38
8.1 Descriere F38
8.2 Recomandări pentru utilizarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual (RCD) F38

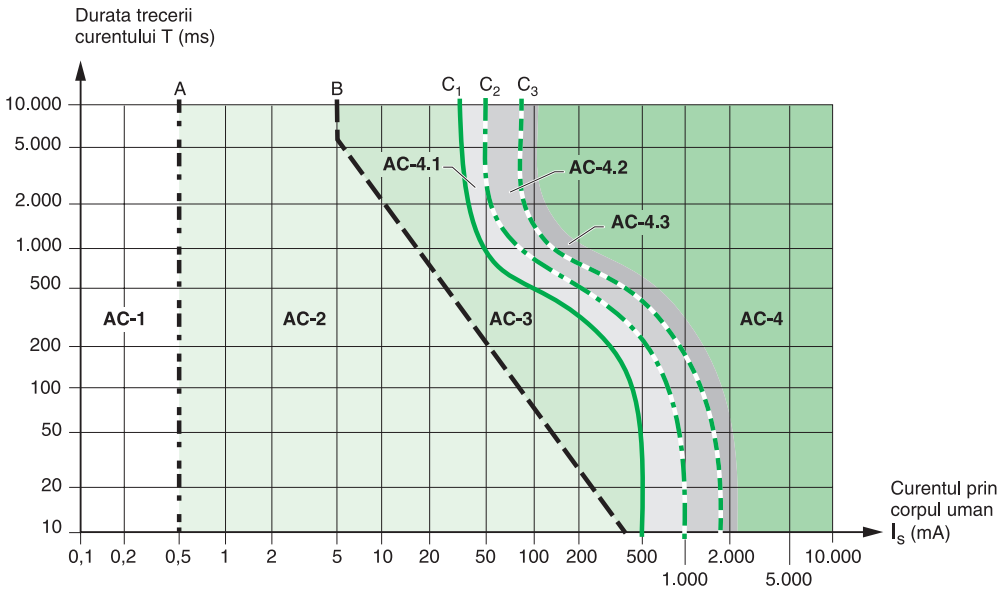
# 1 General

*Când un curent mai mare de 30 mA trece printr-o parte a corpului uman persoana în cauză are serios de suferit dacă acest curent nu este întrerupt într-un timp foarte scurt. Protecția persoanelor împotriva șocului electric în instalațiile de joasă tensiune trebuie realizată în conformitate cu standardele naționale în vigoare, cu regulamentele statutare, normative, ghiduri practice, etc. Standardele CEI relevante sunt: CEI 60364, seria CEI 60479, CEI 61008, CEI 61009 și CEI 60947-2.*

## 1.1 Șocul electric

Șocul electric este un efect fiziologic al trecerii curentului electric prin corpul uman. Trecerea curentului electric prin corpul uman afectează în mod esenţial musculatura, funcțiile respiratorii și circulatorii și uneori are ca rezultat arsuri serioase. Gradul de pericol pentru victimă depinde de mărimea curentului, de suprafața corpului prin care acesta trece și de durata trecerii.
Publicația CEI 60479-1 din 1994 definește patru zone curent/durată, în interiorul cărora sunt descrise efectele patologice (vezi **Fig. F1**).
Orice persoană care vine în contact cu părți active ale instalației este supusă riscului de șoc electric.
Curba C1 indică faptul că, atunci când un curent mai mare de 30 mA trece prin corpul uman dintr-o parte în cealaltă persoana în cauză poate fi ucisă dacă acest curent nu este întrerupt într-un timp relativ scurt.
Punctul 500 ms/100 mA aproape de curba C1 corespunde cu o probabilitate de fibrilație de 0,14%.
Protecția persoanelor împotriva șocului electric în instalațiile de joasă tensiune trebuie realizată în conformitate cu standardele naționale în vigoare, cu regulamentele naționale în vigoare, cu regulamentele statutare, normative, ghiduri oficiale, etc. Standardele CEI în vigoare sunt: seria CEI 60364, seria CEI 60479, CEI 60755, seria CEI 61008, seria CEI 61009 și CEI 60947-2.






zona AC1: imperceptibilă
zona AC2: perceptibilă
zona AC3: efecte reversibile-contracții musculare
zona AC4: posibilitatea unor efecte ireversibile
zona AC4-1: până la 5% probabilitate de fibrilație cardiacă
zona AC4-2: până la 50% probabilitate de fibrilație cardiacă
zona AC4-3: mai mult de 50% probabilitate de fibrilație cardiacă

curba A: prag de percepție a curentului
curba B: prag de reacții musculare
curba C1: prag de 0% probabilitate de fibrilație ventriculară
curba C2: prag de 5% probabilitate de fibrilație ventriculară
curba C3: prag de 50% probabilitate de fibrilație ventriculară

***Fig. F1:*** *Zone curent/durată ale efectelor trecerii curentului electric prin corpul uman de la mâna stangă spre picioare.*

## 1.2 Protecția împotriva șocului electric

Regulile fundamentale ale protecției împotriva șocului electric sunt stabilite în standardul CEI 61140 care acoperă atât instalațiile cât și echipamentele electrice.
Părțile active nu trebuie să fie accesibile în mod accidental, iar părțile accesibile nu trebuie să fie periculoase.
Această regulă se aplică:
- în condiții normale;
- în condițiile unui singur defect.

Protecția în condiții normale corespunde protecției împotriva contactului direct (protecția de bază) iar protecția în condițiile unui singur defect corespunde protecției împotriva contactului indirect (protecția la defect).
Măsurile sporite de protecție se referă la ambele situații.

## 1.3 Contactul direct și indirect

*Deseori se cer luate două măsuri împotriva riscului unui contact direct deoarece s-a dovedit că, în practică, o singură măsură nu este totdeauna suficientă.*

*Standardele și regulamentele disting două categorii de contacte periculoase:*
- *contactul direct;*
- *contactul indirect.*

*și prevăd măsuri de protecție pentru fiecare categorie.*

### Contactul direct

Contactul direct se referă la cazul unei persoane care vine în contact direct cu un conductor activ în condiții normale (vezi **Fig. F2**).
Standardul CEI 61140 a redenumit "protecția împotriva contactului direct" cu termenul de "protecție de bază". Denumirea anterioară este păstrată cu titlul de informație.

### Contactul indirect

Un contact indirect se referă la cazul unei persoane care vine în contact cu o parte metalică accesibilă care în mod normal nu se află dar poate ajunge în mod accidental sub tensiune (datorită unor defecte de izolație sau altor cauze).
Curentul de defect aduce părțile metalice accesibile la o tensiune periculoasă care poate fi la originea unui curent de atingere care circulă prin persoana ce vine în contact cu această parte metalică (vezi **Fig. F3**).
Standardul CEI 61140 a redenumit "protecția împotriva contactului indirect" cu termenul de "protecție la defect". Denumirea anterioară este păstrată cu titlul de informație.



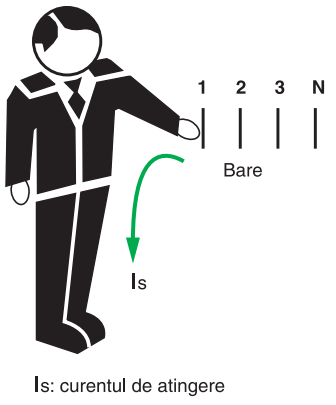



*Fig. F2: Contactul direct.*

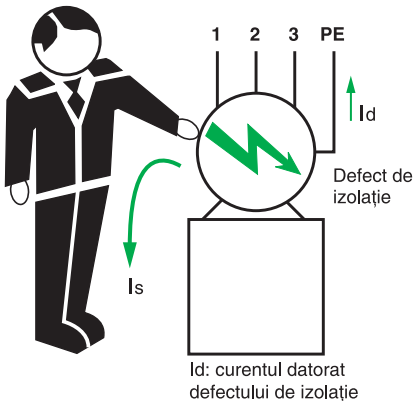



*Fig F3: Contactul indirect.*

# 2 Protecția împotriva contactului direct

Există două măsuri complementare care se utilizează de obicei împotriva pericolului contactului direct:
- prevenirea în mod fizic a contactului cu părți active ale instalației prin utilizarea izolației, prin bariere, inaccesibilitate, etc.;
- protecții suplimentare în cazul în care contactul direct are loc în ciuda sau datorită unor greșeli ale măsurilor de protecție mai sus menționate. Această protecție se realizează cu dispozitive de protecție împotriva curentului de defect la pământ, de mare sensibilitate ($I_{\Delta n} \leqslant 30mA$) și care acționează într-un timp scurt. Aceste dispozitive sunt eficiente în majoritatea cazurilor în care se produce contactul direct.

*Standardele CEI și cele naționale disting în mod frecvent două tipuri de protecții:*
- *completă (izolație, carcase), etc.;*
- *parțială sau specifică.*

## 2.1 Măsuri de protecție împotriva contactului direct

### Protecția prin izolarea părților active

Această protecție constă dintr-o izolare care este în conformitate cu standardele în vigoare (vezi **Fig. F4**). Vopselele, lacurile, emailurile nu asigură o protecție adecvată.

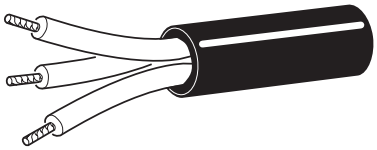


***Fig. F4:*** Protecția împotriva contactului direct prin izolarea cablului trifazat printr-o manta exterioară.

### Protecția cu ajutorul barierelor și carcaselor

Această măsură este larg utilizată întrucât multe dintre componente și materiale sunt instalate în carcase, panouri de comandă și tablouri de distribuție (vezi **Fig. F5**). Pentru a se considera că asigură o protecție efectivă împotriva contactelor directe accidentale, aceste echipamente trebuie să aibă un grad de protecție de cel puțin IP 2X sau IP XXB (a se vedea Capitolul E, subcapitolul 3.4).
Mai mult, un element de deschidere dintr-o carcasă (ușă, panou frontal, sertare, etc.) trebuie să fie detașat, deschis sau debroșat:
- cu ajutorul unei chei sau scule speciale destinate acestui scop;
- numai după izolarea completă a părților active din carcasă;
- cu o intercalare automată a unui ecran care poate fi detașat numai cu o cheie sau cu o sculă destinată acestui scop. Carcasa metalică și toate părțile metalice ale ecranelor trebuie să fie conectate la conductorul de protecție (PE) al instalației.

***Fig. F5:*** Exemple de carcase pentru protecție.

### Măsuri parțiale de protecție

- Protecția cu ajutorul obstacolelor sau prin amplasare în afara zonei de accesibilitate. Acest tip de protecție este rezervată locațiilor în care accesul este permis doar personalului autorizat.

Modul de realizare a acestui tip de protecție este prezentat în CEI 60364-4-41.

### Măsuri particulare de protecție

- Protecția prin utilizarea unor tensiuni foarte joase de siguranță (TFJS) sau prin limitarea energiei de descărcare.

Aceste măsuri sunt utilizate doar în cazul circuitelor de mică putere și în cazuri speciale, așa cum sunt descrise în secțiunea 3.5.

O măsură suplimentară de protecție împotriva contactelor directe accidentale este utilizarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual, care acționează la 30 mA și chiar mai jos, și care sunt cunoscute ca RCD (Residual Current Device) de sensibilitate mare.

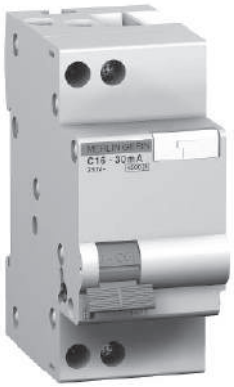


*Fig. F6: RCD de sensibilitate mare.*

## 2.2 Măsuri suplimentare de protecție împotriva contactului direct

Toate măsurile de protecție anterioare sunt preventive, dar experiența arată faptul că din diferite motive ele nu pot fi considerate perfecte. Printre aceste motive se află:
- lipsa unei mentenanțe corespunzătoare;
- imprudența, neglijența;
- uzura normală sau anormală a izolației: de ex. îndoirea sau răzuirea conductoarelor de legătură;
- contactele accidentale;
- imersia în apă, situație în care izolația nu mai este suficientă.

Pentru a proteja utilizatorii și în aceste situații sunt utilizate dispozitive sensibile, cu declanșare rapidă bazată pe detecția curentului rezidual către pământ (care se poate scurge sau nu printr-un organism viu), pentru a deconecta în mod automat sursa de alimentare, suficient de rapid pentru a împiedica producerea de prejudicii permanente sau chiar moartea prin electrocutare (vezi **Fig. F6**).
Aceste dispozitive funcționează pe principiul măsurării curentului diferențial, în care orice diferență dintre curentul de intrare în circuit și cel de ieșire (într-un sistem alimentat de la o sursă legată la pământ) se scurge la pământ fie printr-un defect de izolație, fie printr-un contact realizat de o persoană care atinge un conductor activ.
Dispozitivele de curent diferențial rezidual (RCD) standardizate suficient de sensibile pentru protecția împotriva contactului direct sunt calibrate la un curent diferențial de 30 mA.
În conformitate cu CEI 60364-4-41 protecția suplimentară realizată cu ajutorul dispozitivelor de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate ($I_{\Delta n} \leqslant 30$ mA) trebuie aplicată circuitelor care alimentează prize având un curent nominal ⩽ 20 A în toate cazurile, și pentru circuite care alimentează echipamente mobile având curent nominal ⩽ 32 A pentru uz exterior.
Această protecție suplimentară este impusă în anumite țări pentru circuite de prize de până la 32 A și chiar mai mult dacă acestea se găsesc în spații umede și/sau temporare (ex: organizări de șantier).
Este de asemenea recomandată limitarea numărului de prize protejate printr-un RCD (de ex: 10 prize pentru un RCD).
În capitolul P, secțiunea 3, sunt menționate diferite zone în care dispozitivele RCD de mare sensibilitate sunt obligatorii (în anumite țări), dar în orice caz sunt puternic recomandate ca o protecție eficientă împotriva contactelor directe și indirecte accidentale.

# 3 Protecția împotriva contactului indirect

*Măsurile de protecție sunt:*
- *deconectarea automată a sursei de alimentare (la primul sau la al doilea defect în funcție de sistemul de tratare al neutrului);*
- *măsuri speciale de protecție în funcție de situație.*

Părțile conductoare accesibile utilizate în fabricarea echipamentelor electrice sunt separate de părțile active ale echipamentului prin ceea ce se numește izolația de bază. Deteriorarea acestei izolații de bază va face ca și acest material potențial conductor să fie pus sub tensiune.
Atingerea unei părți a unui echipament electric care în mod normal nu este sub tensiune, dar care a ajuns sub tensiune datorită acestor deteriorări ale izolației definește contactul indirect.
Diferite măsuri sunt luate pentru protecția împotriva acestor atingeri accidentale, incluzând:
- deconectarea automată a sursei de alimentare;
- măsuri speciale, cum ar fi:
  - utilizarea unor materiale cu izolație de clasă II sau o izolație echivalentă ca nivel,
  - amplasarea echipamentelor în afara zonelor de accesibilitate, sau intercalarea de bariere,
  - legături echipotențiale,
  - separarea galvanică prin utilizarea transformatoarelor de separație.

*Protecția împotriva contactelor individuale accidentale prin deconectarea automată a sursei de alimentare se poate obține dacă părțile conductoare accesibile ale echipamentului sunt corect legate la pământ.*

## 3.1 Măsuri de protecție prin deconectarea automată a sursei de alimentare

### Principii de bază

Această măsură de protecție depinde de două cerințe fundamentale și anume:
- de modul de conectare la pământ a tuturor părților conductoare accesibile ale echipamentului electric și de modul de realizare a rețelei de împământare;
- deconectarea automată a tensiunii de alimentare a secțiunii defecte a instalației trebuie să se facă în așa fel încât cerințele de siguranță ale raportului tensiune de atingere/durată să fie îndeplinite pentru orice valoare a tensiunii de atingere Uc(1) (vezi **Fig. F7**).

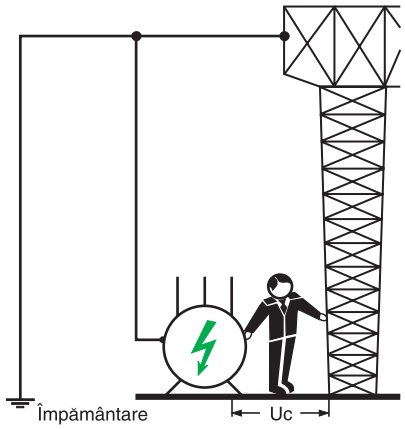



***Fig. F7:*** *Tensiunea de atingere periculoasă Uc.*

Cu cât valoarea tensiunii de atingere este mai mare, cu atât mai rapid trebuie să declanșeze protecția (vezi **Tab. F8**). Valoarea cea mai mare a tensiunii de atingere Uc care poate fi suportată un timp nedefinit, fără consecințe asupra organismului uman, este de 50 V c.a.

### Recapitulare a limitelor teoretice ale timpilor de deconectare

| **Uo (V)** | | 50 < Uo ⩽ 120 | 120 < Uo ⩽ 230 | 230 < Uo ⩽ 400 | Uo > 400 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Sistem** | TN sau IT | 0,8 | 0,4 | 0,2 | 0,1 |
| | TT | 0,3 | 0,2 | 0,07 | 0,04 |

***Tab. F8:*** *Durate maxime ale tensiunii de atingere în c.a (în secunde).*

***(1)*** *Tensiunea de atingere $U_c$ este tensiunea existentă (ca urmare a unor defecte de izolație) între părțile conductoare accesibile și orice alt element conducător care se află la un potențial diferit (în general al pământului).*

*Deconectarea automată în cazul sistemelor TT se realizează cu ajutorul dispozitivelor de curent diferențial rezidual (RCD - Residual Current Device) având o sensibilitate*

$$I_{\Delta n} \leqslant \frac{50}{R_A}$$

*unde $R_A$ este rezistența de dispersie a prizei de pământ.*

## 3.2 Deconectarea automată în cazul sistemului TT

### Principii de bază:

În cazul acestui sistem, toate părțile conductoare accesibile și cele conductoare externe ale instalației trebuie să fie conectate la aceeași priză de pământ. Punctul neutru al sursei de alimentare este în mod normal conectat la pământ printr-o priză de pământ separată, în afara zonei de influență a prizei de pământ a instalației, dar acest lucru nu este o necesitate. Impedanța buclei de defect constă, în principal, din impedanțele celor două prize de pământ (a sursei și a instalației) conectate în serie, de aceea valoarea curentului de defect la pământ este, în general, prea mică pentru ca releele de supracurent sau fuzibilele să declanșeze, prin urmare utilizarea unui dispozitiv de curent diferențial rezidual este esențială.
Acest principiu de protecție este de asemenea valabil în cazul unei singure prize de pământ, respectiv în cazul consumatorului tip post de transformare într-o instalație unde spațiul limitat poate impune adoptarea sistemului de tratare TN, dar unde nu toate celelalte condiții impuse de sistemul TN pot fi respectate.
Protecția prin deconectarea automată a sursei utilizată în sistemul TT este realizată de dispozitive RCD cu o sensibilitate:

$$I_{\Delta n} \leqslant \frac{50}{R_A}$$

unde:

$R_A$ este rezistența prizei de pământ a instalației

$I_{\Delta n}$ este curentul rezidual nominal al RCD.

În cazul alimentărilor temporare (organizare de șantier) și locațiilor din agricultură și horticultură, se va înlocui valoarea 50 V cu 25 V.

**Exemple:** (vezi **Fig. F9**)

- rezistența prizei de pământ a unei surse cu neutrul legat la pământ Rn este 10 Ω;
- rezistența prizei de pământ a instalației este $R_A$ = 20 Ω;
- curentul prin bucla de punere la pământ: $I_d$ = 7,7 A;
- tensiunea de atingere $U_f = I_d \times R_A$ = 154 V și deci periculoasă dar

$I_{\Delta n}$ = 50/20 = 2,5 A, așa ca un dispozitiv RCD standard de 300 mA va declanșa în cca. 30 ms (vezi **Tab. F10**) fără nici o temporizare și va întrerupe circuitul defect, acolo unde tensiunea de atingere apare la nivelul părților conductoare accesibile.

| Uo(1) (V) | T (s) |
|---|---|
| 50 < $U_o$ ⩽ 120 | 0,3 |
| 120 < $U_o$ ⩽ 230 | 0,2 |
| 230 < $U_o$ ⩽ 400 | 0,07 |
| $U_o$ > 400 | 0,04 |

***(1)*** *Uo este tensiunea nominală de fază.*

***Tab. F10:*** *Timpul maxim de deconectare pentru circuitele de c.a. mai mici de 32 A.*

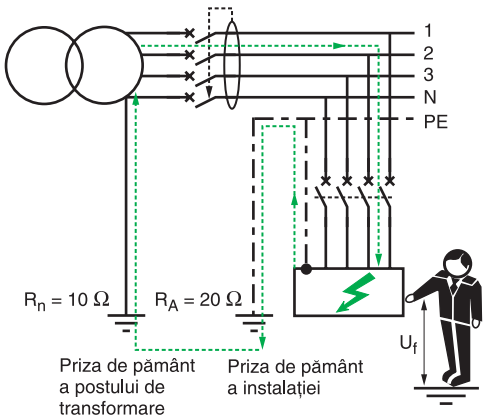



***Fig. F9:*** *Deconectarea automată a alimentării în cazul sistemelor TT*

### Timpul maxim de deconectare

Timpul de deconectare al RCD este, în general, mai mic decât cel cerut în majoritatea standardelor naționale; această caracteristică ușurează utilizarea și permite realizarea unor protecții efectiv selective.
Standardul CEI 60364-4-41 specifică timpii maximi de deconectare ale dispozitivelor de protecție utilizate în sistemul TT împotriva contactelor indirecte:

- pentru circuitele terminale cu un curent nominal inferior lui 32 A timpul maxim de deconectare nu va depăși valorile indicate în **Tab. F10**;
- pentru celelalte circuite, timpul maxim de deconectare este stabilit la 1 s. Această limită permite obținerea selectivității între dispozitivele RCD atunci când acestea sunt instalate pe circuite de distribuție. RCD este termenul general utilizat pentru dispozitivele care acționează pe principiul curentului diferențial rezidual. RCCB (Residual Current Circuit Breaker - întreruptor automat de curent rezidual) așa cum este definit în seriile de standarde CEI 61008 este o clasă specifică de RCD.
Tipul G (general) și tipul S (selectiv), conform CEI 61008 au caracteristicile de declanșare timp/curent așa cum este indicat în **Tab. F11**. Aceste caracteristici indică un anumit grad de selectivitate a declanșărilor între diferite combinații de tipuri și calibre, așa cum este indicat în subcapitolul 4.3.
În conformitate cu CEI 60947-2, RCD de tip industrial are mult mai multe posibilități de selectivitate datorită flexibilității în ceea ce privește temporizarea.

# 3 Protecția împotriva contactului indirect

| x $I_{\Delta n}$ | | 1 | 2 | 5 | > 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Uz domestic | Instantaneu | 0,3 | 0,15 | 0,04 | 0,04 |
| | Tip S | 0,5 | 0,2 | 0,15 | 0,15 |
| Uz industrial | Instantaneu | 0,3 | 0,15 | 0,04 | 0,04 |
| | Temporizare (0,06) | 0,5 | 0,2 | 0,15 | 0,15 |
| | Temporizare (altele) | în conformitate cu indicațiile producătorului | | | |

*Tab. F11: Timpul maxim de declanșare al RCD (în secunde) .*

## 3.3 Deconectarea automată în cazul sistemelor TN

### Principii de bază

*Deconectarea automată în cazul sistemelor TN se realizează prin dispozitive de protecție la supracurenți sau prin dispozitive de curent diferențial rezidual.*

În cazul acestui sistem, toate părțile metalice conductoare accesibile și cele exterioare ale instalației sunt conectate direct la priza de pământ prin intermediul conductorului de protecție.
Asa cum este menționat în capitolul E, subcapitolul 1.2, modul în care această conectare directă este realizată, depinde dacă este utilizată metoda de implementare a TN-C, TN-S sau TN-C-S. În **Fig. F12** este prezentată metoda TN-C în care conductorul neutru reprezintă atât Conductorul de Protecție cât și Conductorul Neutru (PEN - Protective Earth and Neutral). În toate sistemele TN orice defect de izolație reprezintă un curent de scurtcircuit între fază și neutru. Nivelul ridicat al acestor curenți de scurtcircuit permite utilizarea protecției la supracurent dar poate genera creșteri ale tensiunii de atingere la locul de defect, pe durata deconectării, de peste 50% din valoarea tensiunii de fază.
În practică, în rețelele de distribuție publică, în mod normal, prizele de pământ sunt realizate la intervale egale în lungul conductorului de protecție (PE) sau (PEN) al rețelei, în timp ce consumatorului i se cere adeseori să realizeze o priză de pământ la punctul de intrare în instalația de utilizare.
În instalațiile mari există adeseori prize de pământ dispuse în jurul locațiilor receptorilor, pentru a reduce tensiunea de atingere cât mai mult posibil. În cazul blocurilor de apartamente, toate părțile conductoare accesibile sunt conectate la conductorul de protecție la fiecare nivel. Pentru a asigura o protecție adecvată, curentul de punere la pământ :

$I_d = \frac{U_o}{Z_s}$ sau $0{,}8\frac{U_o}{Z_c}$ trebuie să fie mai mare sau egal cu $I_a$.

unde:

$U_o$ = tensiunea de fază (între fază și neutru)
$I_d$ = curentul de defect
$I_a$ = curentul egal cu valoarea impusă la care dispozitivul de protecție declanșează în timpul specificat
$Z_s$ = impedanța buclei de defect egală cu suma impedanțelor sursei, a conductoarelor active până în punctul de defect și a conductorului de protecție de la punctul de defect până la sursă
$Z_c$ = impedanța buclei circuitului de defect (a se vedea “metoda conventională”, subcapitolul 6.2).

**Notă:** Zona de la priza de pământ înapoi la sursă are în general o impedanță mult mai mare decât celelalte menționate și deci poate fi neglijată.

**Exemplu** (vezi **Fig. F12**)

Tensiunea de atingere accidentală este $U_f = \frac{230}{2} = 115$ V

Impedanța buclei de defect este: $Z_s = Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{DE} + Z_{EN} + Z_{NA}$.
Dacă predominante sunt $Z_{BC}$ și $Z_{DE}$, atunci:

$Z_s = 2\rho\frac{L}{S} = 64{,}3$ mΩ, deci:

$I_d = \frac{230}{64{,}3 \times 10^{-3}} = 3.576$ A, ($\approx 22\ I_n$ pentru întreruptorul automat NS 160).

Declanșatorul magnetic instantaneu al întreruptorului este reglat la o valoare de câteva ori mai mică decât această valoare a curentului de scurtcircuit, și deci declanșarea în cel mai scurt timp posibil este asigurată.
**Notă:** În anumite cazuri se pot relua calculele pornind de la premiza că există o cădere de tensiune de cca. 20%. Această metodă care este recomandată și este explicată în capitolul F, subcapitolul 6.2, “metoda convențională“ conduce în acest exemplu la un curent de defect estimat de:

$\frac{230 \times 0{,}8 \times 10^3}{64{,}3} = 2.816$ A, ($\approx 18\ I_n$).

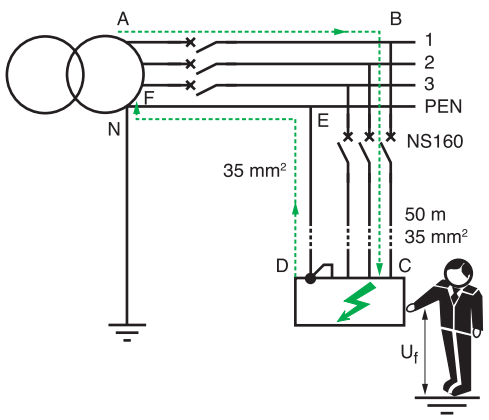



*Fig. F12: Deconectarea automată în sistemele TN.*

## Timpul maxim de deconectare

Standardul CEI 60364-4-41 specifică timpii maximi de deconectare ai dispozitivelor de protecție utilizate în sistemul TN pentru protecția împotriva contactelor indirecte:
- pentru circuitele terminale cu un curent nominal inferior lui 32 A timpul maxim de deconectare nu va depăși valorile indicate în **Tab. F13**.
- pentru celelalte circuite timpul maxim de deconectare este stabilit la 5 s. Această limită permite obținerea selectivității între dispozitivele de protecție atunci când acestea sunt instalate pe circuite de distribuție.

**Notă**: Utilizarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual poate fi necesară în cazul sistemelor TN. Utilizarea RCD pentru sistemele TN-C-S înseamnă că, de fapt, conductorul de protecție este separat de conductorul neutru în amonte de RCD. Această separare se face uzual, la intrarea în tablou.

| $U_o$ (1) (V) | T (s) |
|---|---|
| $50 < U_o \leqslant 120$ | 0,8 |
| $120 < U_o \leqslant 230$ | 0,4 |
| $230 < U_o \leqslant 400$ | 0,2 |
| $U_o > 400$ | 0,1 |

***(1)*** *$U_o$ este tensiunea nominală de fază (fază-pământ).*

***Tab. F13:*** *Timpul maxim de declanșare pentru circuite terminale de c.a. care nu depășesc 32 A.*



*Dacă protecția urmează să fie asigurată de un întreruptor automat este suficient să se verifice faptul că valoarea curentului de defect depășește întotdeauna reglajul magnetic al protecției instantanee sau temporizate de scurtă durată a declanșatorului ($I_m$).*

## Protecția cu ajutorul întreruptoarelor automate (vezi **Fig. F14**)

Declanșatorul instantaneu al întreruptorului automat va elimina curentul de scurtcircuit de punere la pământ în mai puțin de 0,1 secunde.
În consecință, deconectarea automată în timpul maxim permis va fi totdeauna posibilă, atâta timp cât toate tipurile de declanșatoare magnetice, electronice, instantanee sau temporizate de scurtă durată permit $I_a = I_m$. Toleranța maximă admisă de către standardele în vigoare trebuie totdeauna luată în considerare.

Prin urmare în cazul în care curentul de defect, $\frac{U_o}{Z_s}$ sau $0,8\frac{U_o}{Z_c}$ determinat prin calcul (sau estimat pe șantier) va fi mai mare decât curentul de declanșare instantaneu sau temporizat de scurtă durată al întreruptorului automat, declanșarea în limita timpului maxim admis este practic asigurată.

*$I_a$ poate fi determinat pornind de la curbele de fuziune ale siguranțelor fuzibile. În orice caz protecția nu poate fi asigurată dacă impedanța buclei de defect Zs sau Zc este mai mare decât o anumită valoare.*

## Protecția cu ajutorul siguranțelor fuzibile (vezi **Fig. F15**)

Valoarea curentului care asigură funcționarea corectă a unei siguranțe fuzibile poate fi evaluată din curba curent/timp a siguranței fuzibile în cauză. $I_a$ poate fi determinat din curba de funcționare a fuzibilului; în orice caz, protecția nu poate fi realizată dacă impedanța buclei de defect, $Z_c$ sau $Z_s$ depășește o anumită valoare.

Curentul de defect $\frac{U_o}{Z_s}$ sau $0,8\frac{U_o}{Z_c}$ determinat mai sus depășește cu mult valoarea necesară topirii siguranței fuzibile. Condiția de verificat este ca $I_a < \frac{U_o}{Z_s}$ sau $0,8\frac{U_o}{Z_c}$ așa cum este indicat în **Fig. F15**.

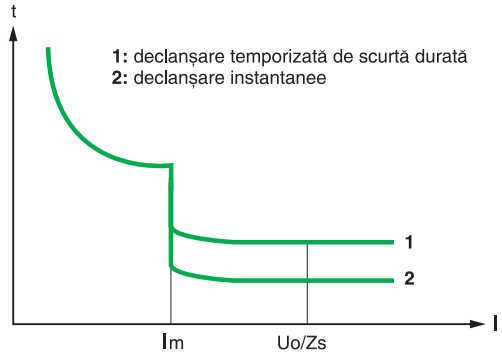



***Fig. F14:*** *Deconectarea cu ajutorul întreruptorului automat în sistemele TN.*

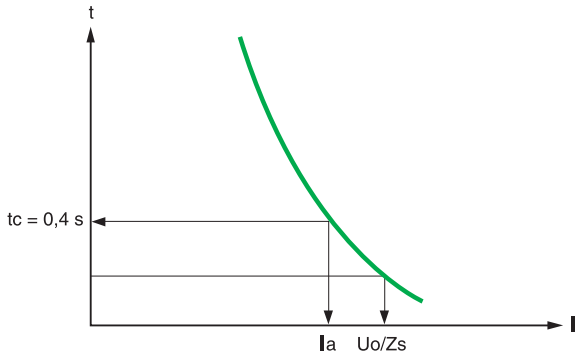



***Fig. F15:*** *Deconectarea cu ajutorul siguranțelor fuzibile în sistemele TN.*

# 3 Protecția împotriva contactului indirect



**Exemplu**: Tensiunea nominală de fază a rețelei este 230 V și timpul maxim de deconectare dat în graficul din **Fig. F15** este 0,4 s.
Valoarea corespunzătoare a $I_a$ poate fi citită din grafic. Utilizând tensiunea (230 V) și curentul $I_a$ impedanța totală a buclei de defect sau impedanța buclei circuitului poate fi calculată cu ajutorul formulelor: $Z_s = \frac{230}{I_a}$ sau $Z_c = 0{,}8\,\frac{230}{I_a}$
Valorile impedanțelor din circuit nu trebuie să depășească niciodată valorile mai sus calculate, și ar fi de preferat să fie substanțial mai mici pentru a se asigura o funcționare satisfăcătoare a siguranței fuzibile.

### Protecția cu ajutorul dispozitivelor de curent diferențial rezidual (RCD - Rezidual Current Devices) în cazul sistemelor TN-S

Dispozitivele de curent diferențial rezidual trebuie utilizate atunci când:
- impedanța buclei de defect nu poate fi determinată precis (lungimi de cabluri dificil de estimat, prezența unor materiale metalice în vecinatatea conductoarelor, etc.);
- curenții de defect sunt atât de mici, încât timpii de deconectare maximi admisibili nu pot fi obținuți de către dispozitivele de protecție la supracurenți.

Curenții nominali de declanșare pentru dispozitivele de curent diferențial rezidual sunt de ordinul amperilor, adică mult mai puțin decât nivelul curentului de defect, ceea ce le face foarte eficiente în cazul unor curenți de defect mici.
În practică, acestea sunt deseori utilizate în distribuția de joasă tensiune; în multe țări deconectarea automată a circuitelor terminale trebuie realizată cu ajutorul dispozitivelor de curent diferențial rezidual.

## 3.4 Deconectarea automată la al doilea defect în cazul sistemelor IT

În acest tip de sistem:
- sursa este izolată de pământ sau este conectată la pământ printr-o impedanță de valoare foarte mare;
- toate părțile conductoare accesibile exterioare sunt conectate la priza de pământ.

*În cazul sistemelor IT primul defect de punere la pământ nu trebuie să determine nici o deconectare.*

### Primul defect

Atunci când are loc un prim defect real, numit “primul defect“ valoarea curentului de defect este foarte mică astfel încât regula $I_d \times R_A \leqslant 50$ V (vezi paragraful 3.2) este îndeplinită și deci, nu poate apărea o tensiune de atingere periculoasă.
În practică curentul $I_d$ este de valoare mică, ceea ce nu este periculos nici pentru personalul de exploatare, nici pentru instalație.
Totusi, în acest caz:
- trebuie realizată o permanentă monitorizare a izolației, cuplată cu un semnal de alarmă (audio sau/și luminoasă) care să funcționeze în situația apariției primului defect (vezi **Fig. F16**).
- localizarea și îndepărtarea primului defect este imperios necesară pentru a se obține toate avantajele sistemului IT. Continuitatea alimentării este cel mai mare avantaj pe care îl are acest sistem de tratare al neutrului.

Pentru o rețea alcătuită din cca. 1 km de conductoare noi, impedanța (capacitivă) de scurgere către pământ $Z_f$ este de ordinul a 3500 Ω pe fază. În funcționarea normală curentul capacitiv către pământ[(1)] se calculează cu formula:

$$\frac{U_o}{Z_f} = \frac{230}{3.500} = 66 \text{ mA pe fază.}$$

În timpul unui defect între fază și pământ, așa cum este indicat în **Fig. F17**, curentul care trece prin priza de pământ de rezistență $R_{nA}$ este dat de suma vectorială a curentului capacitiv din cele două faze neafectate. Tensiunile fazelor neafectate au crescut cu $\sqrt{3}\,U_o$ (datorită existenței defectului pe a treia fază), deci curenții capacitivi cresc proporțional. Acești curenți sunt defazați unul față de celalălt cu 60°, deci, atunci când ei se adună vectorial, curentul total devine: 3 x 66 mA = 198 mA (în exemplul prezentat).
Tensiunea de atingere $U_f$ este atunci, egală cu $198 \times 5 \times 10^{-3} = 0{,}99$ V, prin urmare, este total nepericuloasă.
Curentul de scurtcircuit este dat de suma vectorială dintre curentul rezistiv $I_{d1}$ (153 mA) și de cel capacitiv $I_{d2}$ (198 mA). Întrucât părțile active accesibile ale instalației sunt conectate direct la pământ, impedanța $Z_{ct}$ de conectare la pământ a sursei nu mai joacă nici un rol în calculul tensiunii de atingere.

***Fig. F16:*** *Dispozitiv pentru realizarea controlului izolației între fază și pământ, obligatoriu în sistemele IT.*

***(1)*** *În condiții de izolație corespunzatoare, curentul rezistiv de scurgere la pământ se presupune a fi neglijabil în acest exemplu.*

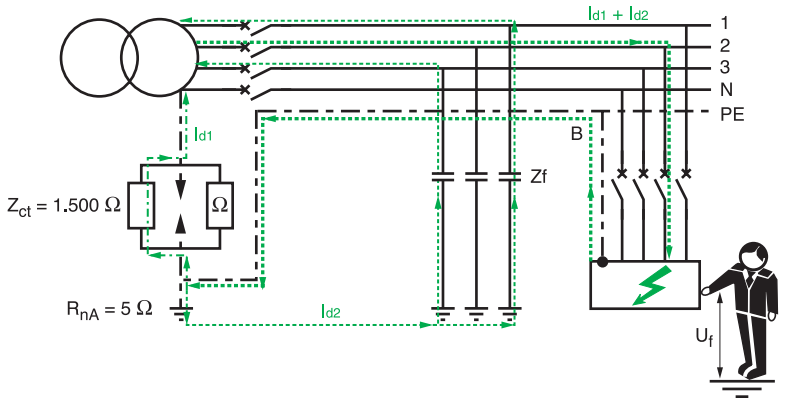



*Fig. F17: Calea curentului de defect la primul defect în cazul sistemelor IT.*

*Existența simultană a două defecte de punere la pământ (dacă nu sunt amândouă pe aceeași fază) este periculoasă și trebuie îndepărtată rapid cu ajutorul siguranțelor fuzibile sau întreruptoarelor automate. Declanșarea întreruptorului automat depinde de modul de conectare la priza de pământ și dacă sunt utilizate sau nu prize de pământ separate.*

## Cazul celui de al doilea defect

La apariția unui al doilea defect, pe o altă fază sau pe conductorul neutru al instalației, deconectarea rapidă devine imperios necesară. Îndepărtarea defectului se realizează în mod diferit în fiecare din următoarele cazuri:

**Primul caz**

Se referă la instalația în care toate părțile conductoare accesibile sunt conectate la un conductor PE comun, așa cum se indică în **Fig. F18**.

În acest caz nici o priză de pământ nu se găsește pe traiectoria curentului de defect, prin urmare curentul de defect are o valoare ridicată și, în mod evident, va trebui să declanșeze protecția la supracurent, adică întreruptoarele automate sau fuzibilele.

Primul defect poate avea loc la un capăt al circuitului, în timp ce al doilea defect poate avea loc la capătul opus. De aceea, este uzual de a se dubla impedanța buclei de defect atunci când se calculează pragul magnetic de declanșare al protecției la supracurent.

Atunci când sistemul include un conductor pentru nulul de lucru pe lângă cele trei conductoare de fază, un curent de scurtcircuit mic va apare atunci când unul (din cele două) defecte are loc între conductorul neutru și pământ (toate cele patru conductoare sunt izolate de pământ în schema IT). În instalațiile IT cu 4 conductoare, pentru calculul nivelurilor de protecție se folosește tensiunea de fază (fază-neutru), exemplu:

$$0{,}8\,\frac{Uo}{2\,Zc} \geqslant Ia^{(1)}\text{, unde}$$

$U_o$ = tensiunea de fază
$Z_c$ = impedanța circuitului buclei de defect (vezi **F3.3**)
$I_a$ = reglajul protecției la supracurent.

În cazul instalațiilor cu neutru nedistribuit (3 conductoare) tensiunea utilizată pentru calculul curentului de defect este tensiunea de linie (între faze), exemplu:

$$0{,}8\,\frac{\sqrt{3}\,Uo}{2\,Zc} \geqslant Ia^{(1)}$$

■ Timpii maximi de deconectare

Timpii de deconectare pentru sistemele IT depind de felul în care sunt interconectate cele două prize de pământ, a instalației și a sursei de alimentare.

Pentru circuitele terminale care alimentează echipamente electrice cu un curent nominal care nu depășește 32 A și având părțile conductoare accesibile conectate la o priză de pământ comună cu cea a sursei de alimentare, timpii maximi de deconectare sunt dați în **Fig. F8**. Pentru alte circuite interconectate având o priză de pământ comună, timpul de deconectare este de 5 s. Aceasta se datorează faptului că orice situație de al doilea defect petrecută în acest grup de circuite reprezintă, în fapt un curent de scurtcircuit similar sistemului TN.

Pentru circuitele terminale care alimentează echipamente electrice cu un curent nominal care nu depășește 32 A și având părțile conductoare accesibile conectate la prize de pământ independente diferite de priza de pământ a sursei de alimentare, timpii maximi de deconectare sunt dați în **Fig. F13**. Pentru alte grupuri de circuite având prize de pământ independente de cea a sursei de alimentare, timpul maxim de deconectare este 1 s. Aceasta se datorează faptului că orice situație de al doilea defect rezultat dintr-un defect de izolație dintr-un grup și un defect de izolație din alt grup va genera un curent de defect care va fi limitat de diferitele prize de pământ ca și în cazul sistemului TT.

***(1)** Bazat pe "metoda convențională" descrisă în primul exemplu de la subcapitolul 3.3.*

# 3 Protecția împotriva contactului indirect

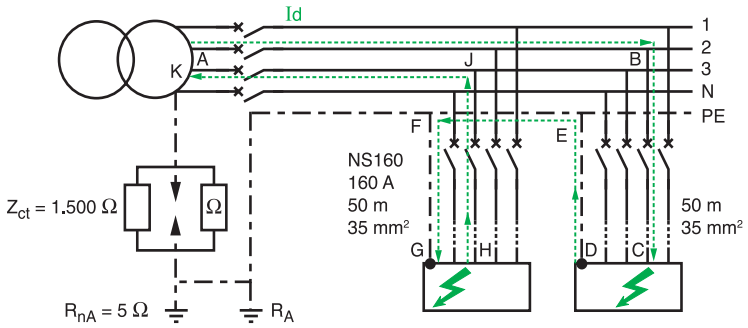



*Fig. F18: Întreruptorul automat declanșează în situația celui de al doilea defect atunci când părțile conductoare accesibile sunt conectate la un conductor de protecție comun.*

■ Protecția prin întreruptor automat

În cazul aratat în **Fig. F18**, pot fi stabilite reglajele protecției instantanee sau temporizată de scurtă durată a declanșatorului. Timpii de deconectare recomandați mai sus pot fi respectați cu ușurință.

**Exemplu:** În cazul indicat în **Fig. F18**, alegerea și reglarea protecției la scurtcircuit furnizate de întreruptorul automat Compact NS 160 este adecvată pentru îndepărtarea unui scurcircuit bifazat (fază-fază) care ar avea loc la capetele circuitelor respective.

**De reținut:** Într-un sistem IT, cele două circuite implicate în scurtcircuitul bifazat se presupune ca au aceeași lungime, aceeași secțiune a conductorului, iar conductorul de PE are aceeași secțiune cu conductorul de fază. În astfel de cazuri, dacă se utilizează "metoda convențională" (subcapitolul 6.2) impedanța buclei de defect va fi de două ori mai mare decât cea calculată pentru unul din circuite în sistemul TN, așa cum se arată în capitolul F, subcapitolul 3.3.

Astfel, rezistența buclei 1, FGHJ = $2R_{JH} = 2\rho = \frac{L}{a}$ în mΩ, unde:

ρ = rezistivitatea electrică a cuprului (Ω/mm²) (a unui țărus din cupru, lung de 1m și având secțiunea de 1 mm²)
L = lungimea, în metri, a circuitului
a = secțiunea, în mm²

FGHJ = 2 x 22,5 x 50/35 = 64,3 mΩ, iar rezistența buclei
B, C, D, E, F, G, H, J va fi 2 x 64,3 = 129 mΩ.
Curentul de defect va fi deci: 0,8 x √3 x 230 x $10^3$/129 = 2470 A.

■ Protecția prin siguranțe fuzibile

Curentul la pentru care siguranța fuzibilă funcționează trebuie ales astfel încât să asigure întreruperea circuitului în timpul specificat, folosind curbele de funcționare ale siguranțelor fuzibile descrise mai sus în **Fig. F15**.
Curentul indicat trebuie să fie semnificativ mai mic decât curentul de defect calculat pentru circuitul respectiv.

■ Protecția prin întreruptoare cu dispozitive de curent diferențial rezidual (RCCB)

În cazuri particulare, RCCB-urile sunt necesare. Astfel, protecția împotriva contactelor accidentale indirecte poate fi realizată utilizând un RCCB, pentru fiecare circuit.

**Al doilea caz**

Se referă la cazul în care părțile conductoare accesibile ale instalației sunt conectate la prize de pământ individuale sau atunci când instalația cuprinde grupuri de circuite conectate la prize de pământ individuale (câte o priză pentru fiecare grup).
Dacă părțile conductoare accesibile ale instalației sunt conectate la prize de pământ individuale, atunci este posibil ca al doilea defect să se producă între circuite sau grupuri de circuite diferite. În acest caz este necesară o protecție suplimentară celei descrise mai sus pentru cazul 1 și se referă la dispozitive de curent diferențial rezidual plasate împreună cu întreruptoarele care protejează fiecare circuit sau grup de circuite.
Motivul pentru această cerință este acela că prizele de pământ ale diferitelor grupuri sunt conectate prin intermediul pământului astfel încât scurtcircuitul bifazat va fi în general limitat la trecerea prin prizele de pământ de către rezistența acestor prize și

deci protecția cu ajutorul dispozitivelor de protecție la supracurenți nu este posibilă. De aceea sunt necesare dispozitive de curent diferențial rezidual sensibile, dar curentul nominal al acestora trebuie, evident, să fie superior celui produs în cazul

| Capacitatea de punere la pământ (µF) | Curentul la primul defect (A) |
|---|---|
| 1 | 0,07 |
| 5 | 0,36 |
| 30 | 2,17 |

***Notă:*** *1 µF reprezintă capacitatea față de pământ pentru un cablu cu patru conductoare având 1 km lungime.*

***Tab. F19:*** *Corespondența dintre capacitatea de punere la pământ și curentul de scurgere la pământ în cazul primului defect.*

primului defect (a se vedea **Tab. F19**).
În cazul unui al doilea defect care se petrece în interiorul unui grup de circuite având o priză de pământ comună, protecția la supracurent funcționează, așa cum s-a descris mai sus, pentru primul caz.
**Nota 1:** A se vedea capitolul G, subcapitolul 7.2, protecția conductorului neutru.
**Nota 2:** În instalațiile trifazate cu 4 conductoare protecția împotriva supracurenților în conductorul neutru este preferabil să se realizeze, uneori, cu ajutorul unui



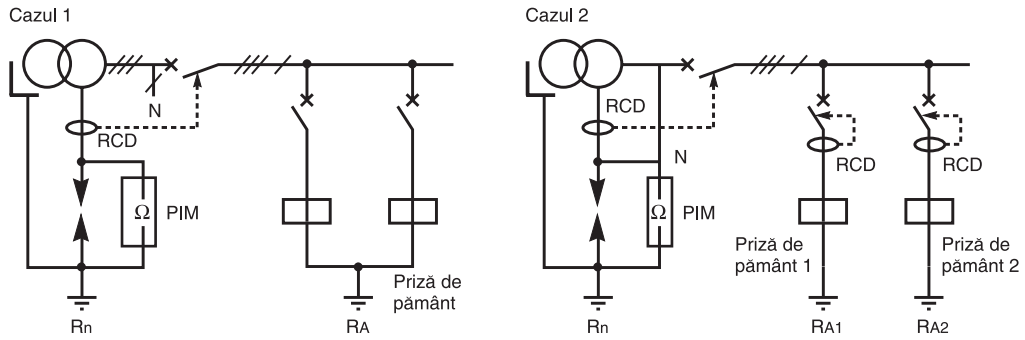



***Fig. F20:*** *Utilizarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual în cazul în care părțile conductoare accesibile sunt conectate individual sau în grup la priza de pământ, în cazul sistemelor IT.*

transformator de curent de tip tor, instalat pe conductorul de neutru (vezi **Fig. F 20**).

## 3.5 Măsuri de protecție împotriva contactelor directe și indirecte fără deconectarea automată a sursei de alimentare

*Tensiunile foarte joase de siguranță sunt folosite în cazuri ce presupun riscuri crescute: bazine de înot, lămpi portabile sau alte echipamente portabile pentru uz exterior, etc.*

### Utilizarea tensiunilor foarte joase de siguranță (TFJS)

TFJS se utilizează în situațiile în care funcționarea echipamentelor electrice implică riscuri serioase de accidente (bazine de înot, parcuri de distracții, etc.). Această măsură depinde de puterea sursei de alimentare la tensiune foarte joasă de la înfășurarea secundară a transformatoarelor de separație, special proiectate în conformitate cu standardele naționale sau internaționale (CEI 60742). Nivelul de ținere la impuls al izolației dintre înfășurările primară și secundară este foarte mare și/sau între înfășurări este uneori incorporat un ecran metalic împământat. Tensiunea în secundar nu depășește niciodată valoarea efectivă de 50 V.
Pentru o protecție corespunzătoare împotriva contactelor indirecte trebuie respectate în exploatare trei condiții:
- nici un conductor activ al circuitelor de TFJS nu trebuie conectat la priza de pământ;
- părțile conductoare accesibile ale unei surse de foarte joasă tensiune nu trebuie conectate la priza de pământ, sau la alte părți conductoare active interne sau exterioare;
- toate părțile conductoare active ale circuitelor de TFJS și ale altor circuite cu

# 3 Protecția împotriva contactului indirect

Aceste măsuri impun următoarele:
- circuitele de TFJS trebuie de obicei protejate prin tuburi dedicate exclusiv acestora cu excepția cazului în care au fost utilizate conductoare cu izolația compatibilă cu cea mai mare tensiune a celorlalte circuite din traseu;
- prizele aferente sistemelor de TFJS nu trebuie să aibă prin construcție borne de protecție și nu vor fi conectate la priza de pământ. Fișele și prizele din TFJS trebuie să fie de o formă specifică astfel încât să nu fie posibilă conectarea lor greșită la alte tensiuni.

**Notă:** În condiții normale, când TFJS este mai mică decât 25 V, sistemul nu necesită protecție împotriva contactelor directe accidentale. Cerințe speciale sunt indicate în capitolul P, subcapitolul 3: “Zone speciale”.

## Utilizarea tensiunilor foarte joase de protecție (TFJP) (vezi **Fig. F21**)

Această metodă se utilizează în general acolo unde se impun tensiuni foarte joase sau sunt preferate din motive de siguranță, altele decât în zonele de risc crescut menționate anterior. Conceptul este asemenator cel al TFJS, dar circuitul secundar este conectat la pământ într-un punct.
CEI 60364-4-41 definește, în mod precis, semnificația TFJP. Protecția împotriva contactelor directe accidentale este în general necesară, cu excepția cazului în care echipamentul se găsește într-o zonă cu legături echipotențiale, atunci când tensiunea nominală efectivă, nu depășește 25 V, iar echipamentul este utilizat, în mod normal în zone uscate în care nu sunt previzibile contacte directe pentru corpul omenesc. În toate celelalte cazuri, unde nu este prevazută protecția împotriva contactului direct, tensiunea efectivă maximă admisă este de 6 V.



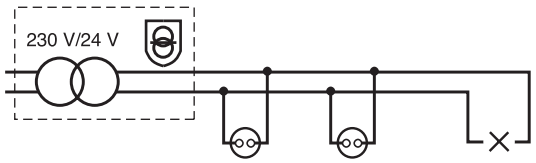



*Fig. F21: Sursă de alimentare de foarte joasă tensiune, de la un transformator de separație.*

## Utilizarea tensiunilor foarte joase funcționale (TFJF)

Acolo unde, din motive funcționale, o tensiune de 50 V sau mai mică este utilizată, însă nu toate prevederile relative la TFJS sau TFJP sunt îndeplinite, trebuie luate în considerare măsuri adecvate prevăzute în CEI 60364-4-41 pentru a se asigură protecția împotriva atât a contactelor directe cât și a celor indirecte accidentale, în conformitate cu amplasarea și cu destinația acestor circuite.
**Notă:** Astfel de condiții ar putea fi întâlnite, spre exemplu, atunci când circuitele includ echipamente (precum transformatoare, relee, întreruptoare cu comandă la distanță, contactoare) insuficient izolate în raport cu circuitele cu tensiuni mai mari.

*Se recomandă utilizarea separării electrice a circuitelor pentru cabluri de lungimi relativ mici și având nivele relativ ridicate ale rezistenței de izolație. Este preferabil să se utilizeze pentru cazuri individuale.*

## Separarea electrică a circuitelor (vezi **Fig. F22**)

Principiul separării electrice a circuitelor (în general circuite monofazate) din motive de siguranță, se bazează pe următoarele considerente.
Cele două conductoare de la înfășurarea secundară monofazată a unui transformator de separație sunt izolate față de pământ.
Dacă o persoană vine în contact direct cu unul dintre conductoare, un curent de valoare foarte mică va circula prin persoana respectivă, prin pământ și înapoi, la celălalt conductor, evident, prin capacitatea inerentă a acelui conductor în raport cu pământul. Întrucât capacitatea conductorului în raport cu pământul este foarte mică, curentul este în general sub nivelul de percepție. Pe măsură ce lungimea circuitului crește, curentul generat de contactul direct va crește progresiv până la o valoare la care devine un șoc electric periculos.
Chiar dacă o lungime a circuitului mică exclude orice pericol din partea curentului capacitiv, o valoare scăzută a rezistenței de izolație în raport cu pământul poate determina un pericol, întrucât calea de curent pornește de la persoana care a produs contactul direct, prin pământ și apoi înapoi la celălalt conductor printr-o rezistență de izolație conductor-pământ scazută. Din aceste motive lungimile relativ scăzute ale cablurilor bine izolate sunt esențiale în cazul sistemelor separate.
Transformatoarele sunt special proiectate pentru această funcțiune, cu un grad mărit al rezistenței de izolație dintre înfășurarea primară și cea secundară sau cu o protecție echivalentă precum cea a unui ecran metalic conectat la pământ între înfășurări. Construcția transformatorului este în conformitate cu clasa II de izolație standard.

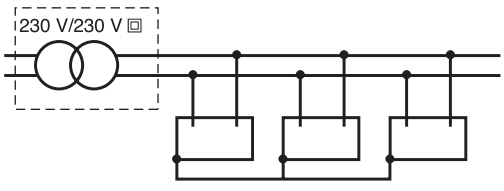



*Fig. F22: Alimentare de siguranță printr-un transformator de separație de clasă II de izolație.*

Așa cum s-a indicat mai înainte, utilizarea corectă a acestui principiu implică următoarele:
- nici un conductor sau parte conductoare accesibilă din circuitul secundar să nu fie conectată la priza de pământ;
- lungimea circuitelor din secundar trebuie să fie limitată pentru a evita valori mari ale capacității[1];
- trebuie realizată o rezistență mare de izolație pentru cablaj și receptoare.

Aceste condiții limitează aplicarea acestei măsuri de siguranță, în general, la un singur receptor.
În cazul în care mai multe receptoare sunt alimentate printr-un transformator de separație este necesar să se realizeze următoarele cerințe :
- părțile conductoare accesibile ale tuturor receptoarelor să fie conectate împreună printr-un conductor de protecție izolat, dar care nu este conectat la priza de pământ;
- prizele trebuie să fie prevăzute cu contact de protecție. Rolul acestui contact de protecție este acela de a asigura interconectarea tuturor părților conductoare accessibile.

În cazul unui al doilea defect protecția la supracurent trebuie să ducă la deconectarea automată a circuitului, în aceleași condiții ca cele impuse în cazul sistemelor IT.

## Echipamentele de clasă II

*Simbol:*

Aceste aparate sunt cunoscute ca având "dublă izolație", întrucât în cazul echipamentelor de clasă II acestea sunt prevăzute pe lângă izolația de bază și cu o izolație suplimentară (vezi **Fig. 23**). Nici o parte conductoare a aparatelor de clasă II nu trebuie conectată la un conductor de protecție:
- cele mai multe dintre aparatele portabile sau semi-mobile, anumite corpuri de iluminat sau tipuri de transformatoare sunt proiectate pentru a avea dublă izolație. Este important să se aibă în vedere anumite reguli speciale de exploatare în cazul echipamentelor clasă II și să se verifice regulat dacă aceasta este menținută (dacă izolația exterioară nu s-a deteriorat, etc.). Aparatele electronice, radiourile, televizoarele au nivele de siguranță echivalente clasei II, dar nu sunt considerate aparate de clasă II.
- izolația suplimentară într-o instalatie electrică: CEI 60364-4-41 (subcapit. 413-2) și anumite standarde naționale precum NFC15-100 (Franța) descriu detaliat măsurile necesare pentru a se realiza o izolație suplimentară în timpul lucrărilor de montaj aferente unei instalații electrice.

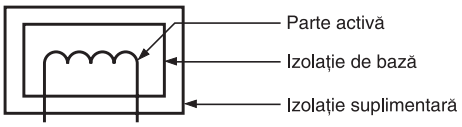



***Fig. F23:*** *Principiul nivelului de izolație de clasă II.*

Un exemplu simplu este cel al introducerii unui cablu într-un tub protector de PVC. Metodele sunt de asemenea descrise și pentru cazul tablourilor de distribuție.
- pentru tablourile de distribuție și echipamente similare, CEI 60439-1 descrie un set de cerințe care realizează "izolația totală", echivalentă cu clasa II.
- multe standarde naționale reunesc anumite cabluri ca fiind echivalente clasei II de izolație.

## Amplasarea în afara unor zone accesibile sau interpunerea de obstacole

*În principiu protecția prin amplasarea părților conductoare în afara unor zone accesibile sau interpunerea de obstacole necesită utilizarea unei pardoseli izolante și, prin urmare nu este ușor de realizat.*

Prin aceste mijloace este foarte puțin probabil să se atingă simultan o parte conductoare activă și o parte conductoare aflată la potențialul pământului (vezi **Fig. 24**). În practică, această măsură poate fi aplicată numai în zonele uscate și se implementează în conformitate cu următoarele cerințe:
- Pardoseala și pereții camerei trebuie să fie izolanți, de exemplu, rezistența de izolație față de pământ trebuie să fie:
  - ☐ 50 kΩ (pentru instalații cu tensiuni ⩽ 500 V),
  - ☐ 100 kΩ (500 V < tensiunea în instalație ⩽1000 V).

Rezistența de izolație este măsurată utilizând un instrument tip "megohmetru" (generator acționat manual sau un model electronic alimentat la baterie) între un electrod amplasat pe pardoseală sau pe perete și pământ (de exemplu cel mai apropiat conductor de protecție conectat la priza de pământ). Presiunea de contact la nivelul electrodului trebuie să fie, evident, aceeași la toate testele.
Fiecare furnizor de astfel de mijloace de măsurare furnizează electrozi adecvați fiecărui produs, deci trebuie avut grijă ca electrozii utilizați să fie cei furnizați împreună cu instrumentul de măsură.

***(1)*** *CEI 364-4-41 recomandă ca produsul dintre tensiunea nominală a circuitului în volți și lungimea în metri a întregului sistem de cablaj să nu depășească 100000, și ca lungimea totală a sistemului de cablaj să nu depășească 500 m.*

# 3 Protecția împotriva contactului indirect



■ Amplasarea echipamentelor și obstacolelor trebuie făcută astfel încât să nu fie posibil contactul simultan cu două părți conductoare accesibile ale instalației sau cu una conductoare accesibilă a instalației și una conductoare accesibilă externă;
■ Nici un conductor de protecție accesibil nu trebuie amplasat în spațiul respectiv;
■ Accesul în spațiul respectiv trebuie astfel realizat încât persoanele care intră să nu fie expuse riscurilor. De exemplu o persoană care se găsește pe o pardoseală conductoare în afara spațiului respectiv nu trebuie să aibe acces (prin ușă) la părți active conductoare precum, spre exemplu, întreruptorul de iluminat montat într-o cutie metalică de tip industrial.

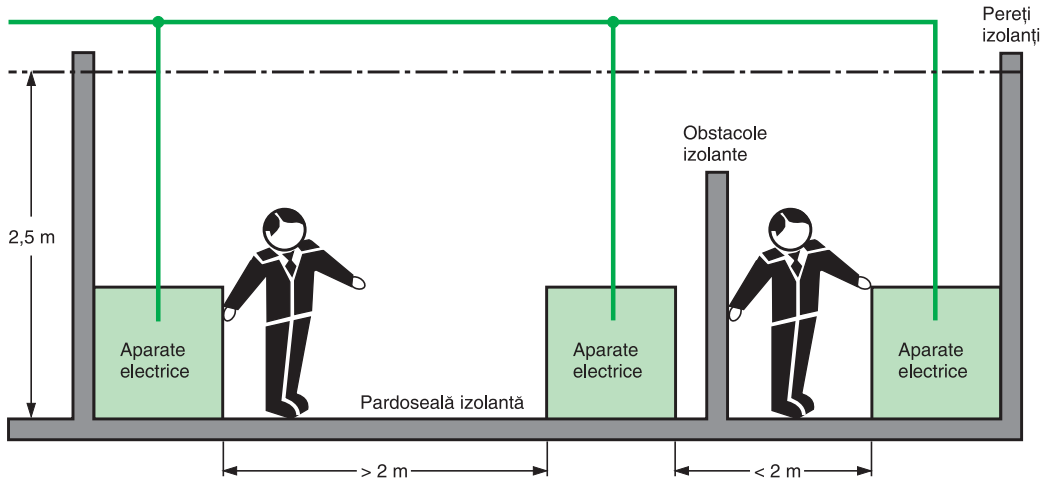



*Fig. F24: Protecția prin amplasarea în afara unor zone accesibile sau înterpunerea de obstacole.*

*Camerele echipotențiale izolate față de pământ sunt asociate cu instalații particulare (laboratoare, etc.) și generează anumite dificultăți în ceea ce privește proiectarea și execuția instalațiilor electrice.*

## Camere echipotențiale izolate față de pământ

În acest caz, toate părțile active accesibile, inclusiv podeaua(1) sunt conectate prin intermediul unui conductor de secțiune suficient de mare astfel încât să nu existe nici o diferență semnificativă de potențial între oricare două puncte. Deteriorarea izolației dintre un conductor activ și carcasa metalică a unui aparat va duce întreaga construcție (cușcă) la un potențial egal cu cel dintre fază și pământ, dar nici un curent electric de defect nu va circula. Însă, în aceste condiții, o persoană care intră în încăpere va fi supusă riscului întrucât va păși pe o podea aflată sub tensiune. Prin urmare, vor trebui luate măsuri speciale de protecție a persoanelor (ex.: podea izolantă la intrări, etc.). De asemenea, vor trebui utilizate echipamente speciale pentru controlul izolației în absența unui curent de defect semnificativ.

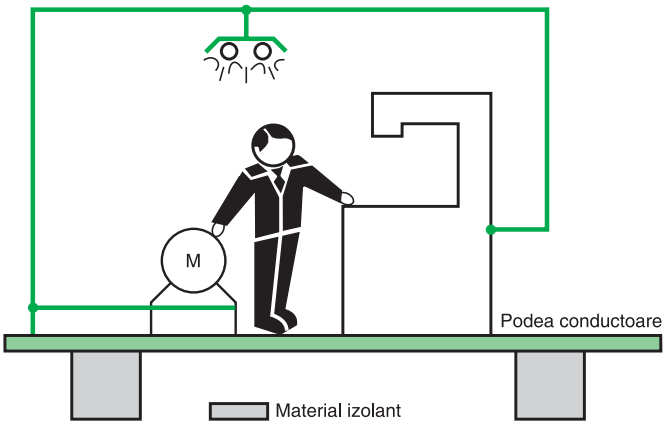



*Fig. F25: Legături echipotențiale pentru toate părțile conductoare simultan accesibile.*

*(1) Părțile conductoare externe instalației care pătrund sau ies în/din spatiul echipotențial (precum țevile de apă, etc.) trebuie protejate în materiale adecvate izolante și excluse din rețeaua de echipotențialitate întruct acestea sunt, probabil, legate la un conductor de protecție (legat la pământ în altă zonă a instalației).*

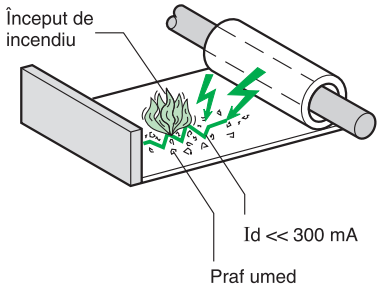
# 4 Protecția bunurilor în cazul defectelor de izolație

Standardele consideră că pagubele (în special incendiile) produse bunurilor de către defectele de izolație sunt importante. Prin urmare, în zonele cu risc crescut de incendiu, trebuie utilizat un dispozitiv de protecție diferențial de 300 mA. Pentru alte cazuri, standardele se referă la tehnici precum “protecția împotriva punerilor la pământ” (GFP - Ground Fault Protection).

*Dispozitivele de curent diferențial rezidual sunt echipamente destinate efectiv asigurării protecției împotriva riscului de incendiu datorat unor defecte de izolație, deoarece acestea pot detecta scurgeri de curent către pământ (ex.: 300 mA), care sunt destul de mici pentru a nu putea fi detectate de către alte protecții, dar suficient de mari pentru a produce incendii.*

## 4.1 Măsuri de protecție împotriva riscului de incendiu cu ajutorul dispozitivelor de curent diferențial rezidual (RCD - Residual Current Devices)

Dispozitivele de protecție de curent diferențial rezidual (RCD) sunt echipamente destinate efectiv asigurării protecției împotriva riscului de incendiu datorat unor defecte de izolație. Acest tip de curent de defect este de fapt prea mic pentru a fi detectat de alte protecții (la supracurenți).
Pentru sistemele TT, IT, TN-S în care scurgerile de curent către pământ pot apărea, utilizarea unor dispozitivele de protecție împotriva curentului rezidual cu sensibilitatea de 300 mA asigură o bună protecție împotriva riscului de incendiu produs de un astfel de defect.
Diferite investigații au arătat faptul că pierderile în cazul producerii unor incendii în clădiri industriale și din sectorul terțiar pot fi foarte mari.
Analiza acestui fenomen a arătat faptul că riscul de incendiu este legat de supraîncălzirea datorată unei coordonări necorespunzătoare dintre valoarea maximă admisă a curentului prin cablu (sau prin conductorul izolat) și pragul protecției la supracurent.
Supraîncălzirea se poate datora, de asemenea, modificărilor produse instalației inițiale (ex.: pozarea suplimentară de cabluri pe același suport).
Supraîncălzirea poate fi cauza producerii arcului electric în mediile umede. Aceste arcuri se dezvoltă atunci când există un defect de izolație și dacă impedanța buclei de defect este mai mare decât 0,6 Ω. Anumite teste arată faptul că un curent de defect de 300 mA poate induce un risc real de incendiu (vezi **Fig. F26**).




Anumite teste au arătat faptul că o scurgere foarte mică de curent (câțiva mA) se poate dezvolta și, de la 300 mA poate induce un incendiu în medii umede și în prezența prafului.

***Fig. F26:*** *Originea incendiilor în clădiri.*

## 4.2 Protecția împotriva defectelor de punere la pământ (GFP - Ground Fault Protection)

### Diferite tipuri de protecții împotriva punerilor la pământ (vezi **Fig. F27** )

În funcție de tipul dispozitivului de măsurare a curentului de scurgere la pământ, există trei tipuri de protecții GFP:

- “Residual Sensing” RS - senzori reziduali

Curentul de defect de izolație este calculat utilizând suma vectorială a curenților din secundarele transformatoarelor de curent. Transformatorul de curent de pe conductorul neutru este deseori în afara întreruptorului automat.

- “Source Ground Return” SGR - măsura curentului de întoarcere prin pământ către sursă

Curentul de defect de izolație este măsurat pe legătura dintre punctul neutru al transformatorului de joasă tensiune și pământ. Transformatorul de curent este în afara întreruptorului automat.

- “Zero Sequence” ZS - măsura curentului de secvență homopolară

Defectul de izolație este măsurat direct cu ajutorul unui transformator de curent toroidal, care face suma curenților din conductoarele active. Acest tip de protecție împotriva punerilor la pământ este utilizat numai la valori mici ale curenților de defect.

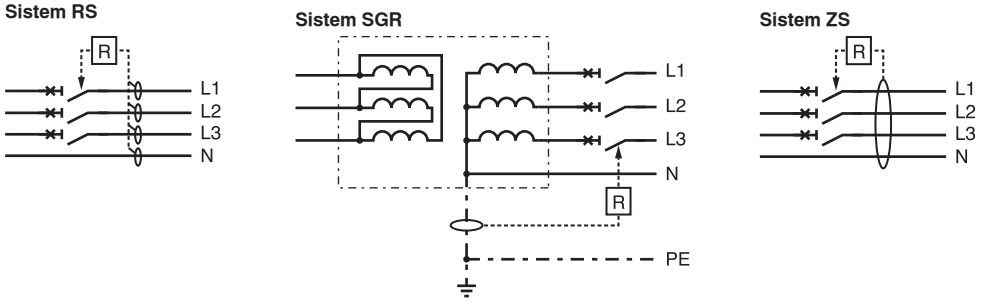



***Fig. F27:*** *Diferite tipuri de protecție împotriva punerilor la pământ.*

# 4 Protecția bunurilor în cazul defectelor de izolație

## Utilizarea în instalație a dispozitivelor GFP - Groung Fault Protection

| Tipul/nivelul instalației | Distribuția principală | Distribuție secundară | Observații |
|---|---|---|---|
| Source Ground Return (SGR) | □ | | Utilizat |
| Residual Sensing (RS) | □ | ■ | Utilizat des |
| Zero Sequence (ZS) | □ | ■ | Utilizat rar |

□ Posibil.
■ Recomandat sau impus.

## 5.1 Măsuri de protecţie

### Protecţia împotriva contactului indirect

**Cazul general**

Protecţia împotriva contactelor indirecte este asigurată prin utilizarea dispozitivelor de curent diferenţial rezidual - RCD, ale căror praguri de sensibilitate $I_{\Delta n}$ îndeplinesc condiţia $I_{\Delta n} \leqslant \frac{50\ V}{R_A}$ (1)

Alegerea pragului de sensibilitate a dispozitivelor de curent diferenţial rezidual se face în funcţie de rezistenta $R_A$ a prizei de pământ a instalaţiei şi este dată în **Tab. F28**.

**Cazul circuitelor de distribuţie** (vezi **Fig. F29**)

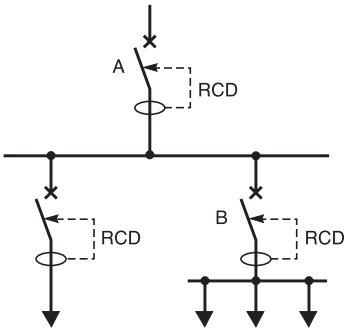



*Fig. F29: Circuite de distribuţie.*

| $I_{\Delta n}$ | Rezistenţa maximă a prizei de pământ (50 V) | (25 V) |
|---|---|---|
| 3 A | 16 Ω | 8 Ω |
| 1 A | 50 Ω | 25 Ω |
| 500 mA | 100 Ω | 50 Ω |
| 300 mA | 166 Ω | 83 Ω |
| 30 mA | 1666 Ω | 833 Ω |

*Tab. F28: Valorile limită superioare pentru rezistenţele prizei de pământ, care nu trebuie depăşite, pentru nivele date ale sensibilităţii dispozitivelor de curent diferenţial rezidual, la tensiuni $U_L$ de 50 V şi 25 V.*

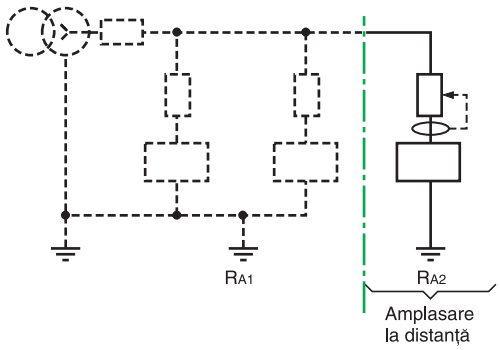



*Fig. F30: Prize de pământ separate.*

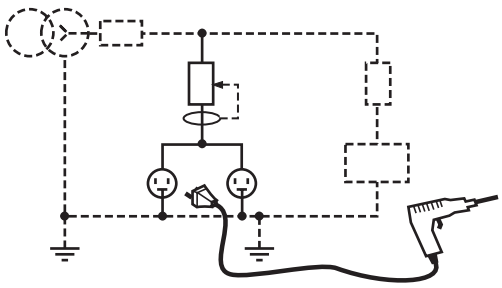


*Fig. F31: Circuite care alimentează prize.*

Standardul CEI 60364-4-41 şi anumite standarde naţionale admit un timp maxim de declanşare de 1 sec. în cazul circuitelor de distribuţie (spre deosebire de circuitele de distribuţie finală). Aceasta permite obţinerea unui anumit grad de selectivitate:
- la nivelul A: temporizare la declanşare a dispozitivului de curent diferenţial rezidual, ex.: tipul “S”;
- la nivelul B: declanşare instantanee a dispozitivului de curent diferenţial rezidual.

**Cazul în care părţile active accesibile ale aparatelor sau grupurilor de aparate sunt conectate la prize de pământ independente** (vezi **Fig. F30**)

Protecţia împotriva contactelor indirecte este realizată cu ajutorul dispozitivului de curent diferenţial rezidual amplasat la nivelul întreruptorului care protejează fiecare aparat sau grup de aparate conectate la prize de pământ separate.
Sensibilitatea fiecărui astfel de dispozitiv trebuie să fie compatibilă cu rezistenţa de dispersie a prizei de pământ la care este conectat aparatul respectiv.

### Dispozitive de curent diferenţial rezidual de mare sensibilitate (vezi **Fig. F31**)

Standardul CEI 60364-4-41 recomandă utilizarea dispozitivelor de curent diferenţial rezidual de mare sensibilitate (⩽ 30 mA) pentru protecţia circuitelor de prize având un curent nominal ⩽ 20 A, în toate cazurile.
Utilizarea unor astfel de RCD este recomandată de asemenea, în următoarele situaţii:
- circuite de priză amplasate în zonele umede, pentru orice valoare a curentului nominal;
- circuite de priză amplasate temporar în anumite zone;
- circuite care alimentează incinte pentru spălătorii sau bazine de înot;
- circuite care alimentează organizări de şantier, rulote, bărci de agrement, târguri mobile.

A se vedea 2.2 şi capitolul P, secţiunea 3.

***(1)*** *La organizări de şantier, clădiri din mediul agricol, etc., se utilizează tensiunea limită de 25 V.*

### Cazul zonelor cu risc crescut de incendiu (vezi Fig. 32)

Protecția cu ajutorul dispozitivelor de curent diferențial rezidual (RCD) la nivelul fiecărui întreruptor este absolut necesară în zonele cu risc și chiar obligatorie în anumite țări.
Sensibilitatea lor trebuie sa fie ⩽ 500 mA, dar pentru protecția împotriva riscului de incendiu este recomandată o sensibilitate de 300 mA.

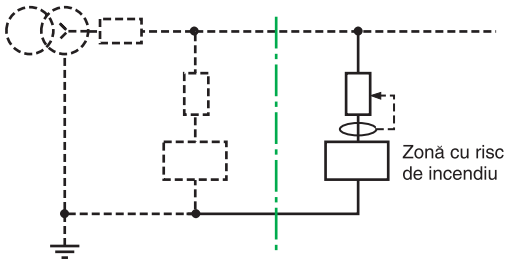



*Fig. F32: Zonele cu risc de incendiu.*



### Protecția în cazul în care părțile conductoare accesibile nu sunt conectate la priza de pământ (vezi Fig. 33)

(În cazuri de instalații existente amplasate în zone uscate și în care nu este posibilă realizarea unei prize de pământ sau dacă conductorul de protecție s-a deteriorat).
Dispozitivele de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate (⩽ 30 mA) asigură pe de o parte protecția împotriva contactelor indirecte accidentale dar, de asemenea, reprezintă și o măsură suplimentară de protecție împotriva pericolului de producere a contactelor directe.

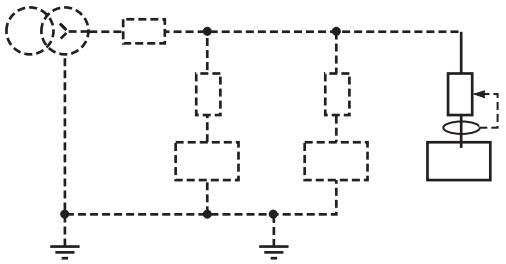


*Fig. F33: Părți conductoare accesibile neconectate la priza de pământ (A).*

## 5.2 Tipuri de dispozitive de curent diferențial rezidual (RCD)

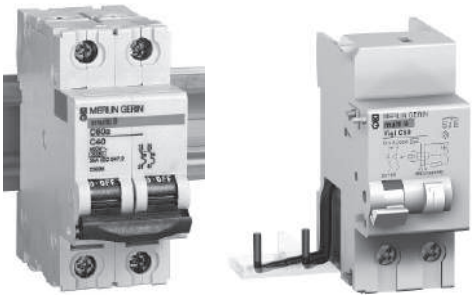
Dispozitivele de curent diferențial rezidual sunt, în mod uzual, încorporate sau asociate următoarelor:
- întreruptoarelor automate în carcasă turnată de tip industrial (MCCB) în conformitate cu CEI 60947-2 și anexelor B și M;
- întreruptoarelor automate miniatură de tip industrial (MCB) în conformitate cu CEI 60947-2 și anexelor B și M;
- întreruptoarelor automate miniatură pentru uz casnic sau similar (MCB) în conformitate cu CEI 60898, CEI 61008, CEI 61009;
- separatoarelor de sarcină în conformitate cu standardele naționale;
- releelor cu transformatoare de curent toroidale separate (de tip inel), în conformitate cu CEI 60947-2, Anexa M.

Dispozitivele de curent diferențial rezidual (RCD) sunt obligatoriu de utilizat în cazul instalațiilor proiectate în sistemul TT, acolo unde capacitatea lor de a obține selectivitate cu alte dispozitive de curent diferențial rezidual permit declanșări temporizate, asigurându-se astfel, un nivel ridicat de continuitate în serviciu.

*Întreruptoarele automate de tip industrial cu module de curent diferențial rezidual integrate sunt în conformitate cu standardul CEI 60947-2 și cu anexa B.*

## Întreruptoare automate de tip industrial cu dispozitive de curent diferențial rezidual integrate sau atașabile (vezi **Fig. 34**)

Întreruptoarele automate de tip industrial Vigi Compact.



Întreruptoarele automate de tip industrial tip Multi 9, cu modul de curent diferențial rezidual, Vigi, atașat.

***Fig. F34:*** *Întreruptoare de tip industrial cu module de protecție împotriva curentului rezidual.*

Întreruptoarele automate cu montaj pe sina DIN (ex. Compact sau Multi 9) pot fi asociate cu dispozitive de curent diferențial rezidual (ex. Blocuri Vigi).
Ansamblul asigură, astfel, funcții complete de protecție (separare, protecție împotriva curenților de scurtcircuit, suprasarcină și curenți de defect la pământ).

*Miniîntreruptoarele automate pentru uz casnic sau similar cu module de protecție împotriva curentului rezidual integrate sunt în conformitate cu CEI 60898, CEI 61008 și CEI 61009.*

## Miniîntreruptoare cu RCD pentru utilizări casnice (vezi **Fig. F35**)

Întreruptorul automat de protecție de la intrarea unui circuit poate avea dispozitiv de curent diferențial rezidual integrat cu caracteristici de temporizare (tip S).

Sistemul monobloc, întreruptor automat cu bloc Vigi integrat pentru protecția circuitelor de priză pentru aplicațiile din sectorul casnic și terțiar.

***Fig. F35:*** *Întreruptoare automate cu dispozitive de curent diferențial rezidual pentru aplicațiile din sectorul casnic.*

*Separatoarele de sarcină cu dispozitive de curent diferențial rezidual sunt în conformitate cu standarde naționale particulare. Dispozitivele de curent diferențial rezidual cu transformatoare de curent toroidale separate sunt în conformitate cu CEI 60947-2 anexa M.*

### Întreruptoare automate cu dispozitive de curent diferenţial rezidual realizate cu ajutorul transformatoarelor de curent toroidale separate (vezi **Fig. F37**)

Dispozitivul de curent diferenţial rezidual realizat cu ajutorul transformatoarelor de curent toroidale separate poate fi asociat cu întreruptoare sau cu contactoare.

***Fig. F37:*** *Dispozitiv de curent diferențial rezidual (RCD) realizat cu ajutorul transformatoarelor de curent toroidale separate.*



## 5.3 Coordonarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual

Coordonarea RCD-urilor din punctul de vedere al selectivităţii declanșărilor se realizează fie prin temporizările declanșărilor, fie prin divizarea circuitelor care sunt protejate individual sau în grup, sau prin combinarea celor două metode.
Astfel, selectivitatea evită declanșarea oricărui dispozitiv de curent diferențial rezidual, altul decât cel aflat imediat în amonte de locul producerii defectului:
- cu dispozitivele disponibile în mod curent, este posibil să se realizeze selectivitatea până la trei sau patru nivele de distribuție:
  - ☐ la nivelul tabloului general de distribuție,
  - ☐ la nivelul tabloului intermediar de distribuție,
  - ☐ la nivelul tablourile secundare,
  - ☐ la nivelul prizelor, pentru protecția fiecărui aparat;
- în general, la tablourile de distribuție (și la cele secundare, dacă există) și la nivelul protecției individuale a fiecărui aparat, dispozitivele pentru deconectarea automată în cazul contactului indirect accidental sunt instalate împreună cu protecția suplimentară împotriva contactelor directe accidentale.

### Selectivitatea între RCD-uri

Recomandările generale referitoare la modul în care se poate obține selectivitatea între două dispozitive de de curent diferențial rezidual sunt următoarele:
- raportul dintre pragurile nominale de declanșare ale dispozitivelor din amonte și aval > 2;
- temporizarea declanșării RCD-ului din amonte.

Selectivitatea se obține prin utilizarea câtorva valori standardizate de sensibilitate: 30 mA, 100 mA, 300 mA și 1 A și a unor temporizări ale declanșării așa cum se arată în **Fig. F38**.

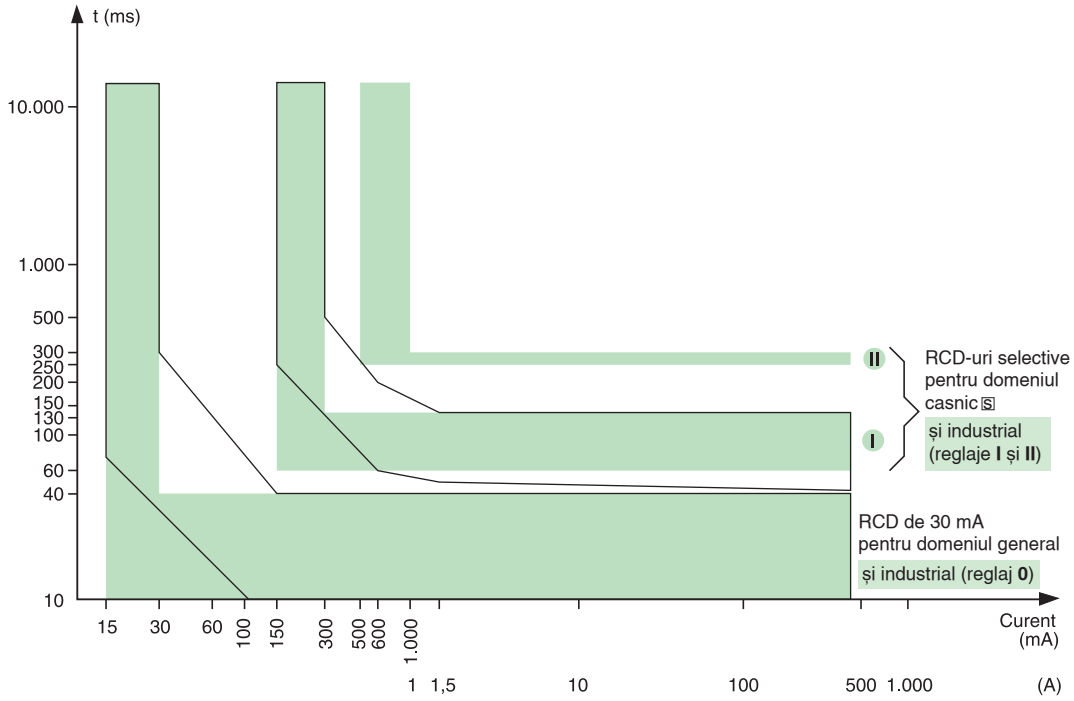



*Fig. F38: Selectivitatea totală pentru două nivele.*

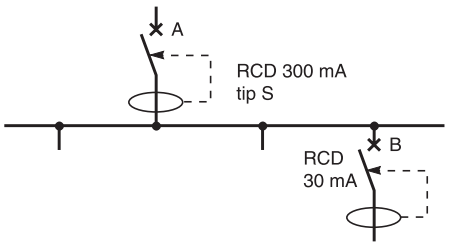



*Fig. F39: Selectivitatea totală pentru două nivele.*

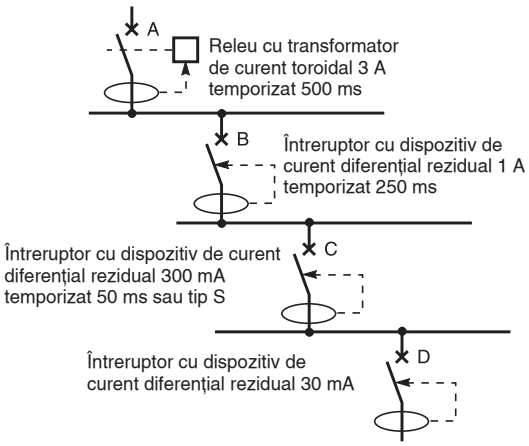



*Fig. F40: Selectivitatea totală pe 3 sau 4 nivele.*

## Selectivitatea între două nivele (vezi **Fig. F39**)

**Protecția**

- Nivelul A: RCD temporizat reglat la I (pentru dispozitivele industriale) sau tipul S (pentru domeniul casnic) pentru protecție împotriva contactelor indirecte;
- Nivelul B: RCD instantaneu, de mare sensibilitate pe circuite alimentând prize sau aparate de mare risc (mașini de spălat, etc. A se vedea, de asemenea, capitolul P, subcapitolul 3).

**Soluțiile Schneider Electric**

- Nivelul A: întreruptoare Compact sau Multi 9 cu dispozitivele de curent diferențial rezidual respective (Vigi NS160 sau Vigi NC100) cu reglaj tip I sau S;
- Nivelul B: întreruptoare cu module RCD integrate (DPN Vigi) sau atașabile (ex. Vigi C60).

**Notă:** Reglajul dispozitivului de curent diferențial rezidual din amonte trebuie să fie în conformitate cu regulile de selectivitate și să țină cont de toți curenții reziduali din aval.

## Selectivitatea la 3 sau 4 nivele (vezi **Fig. F40**)

**Protecția**

- Nivelul A: RCD temporizat (reglaj III);
- Nivelul B: RCD temporizat (reglaj II);
- Nivelul C: RCD temporizat (reglaj I) sau tip S;
- Nivelul D: RCD instantaneu.

**Soluțiile Schneider Electric**

- Nivelul A: întreruptor asociat cu un dispozitiv de curent diferențial rezidual cu transformator toroidal (Vigirex RH54A);
- Nivelul B: Vigicompact sau Vigirex;
- Nivelul C: Vigirex, Vigicompact sau Vigi C60;
- Nivelul D:
  - ☐ Vigicompact, sau
  - ☐ Vigirex, sau
  - ☐ Multi 9 cu RCD integrat sau cu modul atașat: DPN Vigi sau Vigi C60.

**Notă:** Reglajul dispozitivului de curent diferențial rezidual din amonte trebuie să fie în conformitate cu regulile de selectivitate și să țină cont de toți curenții reziduali din aval.

**Selectivitatea protecției pe trei nivele** (vezi **Fig. F41**)

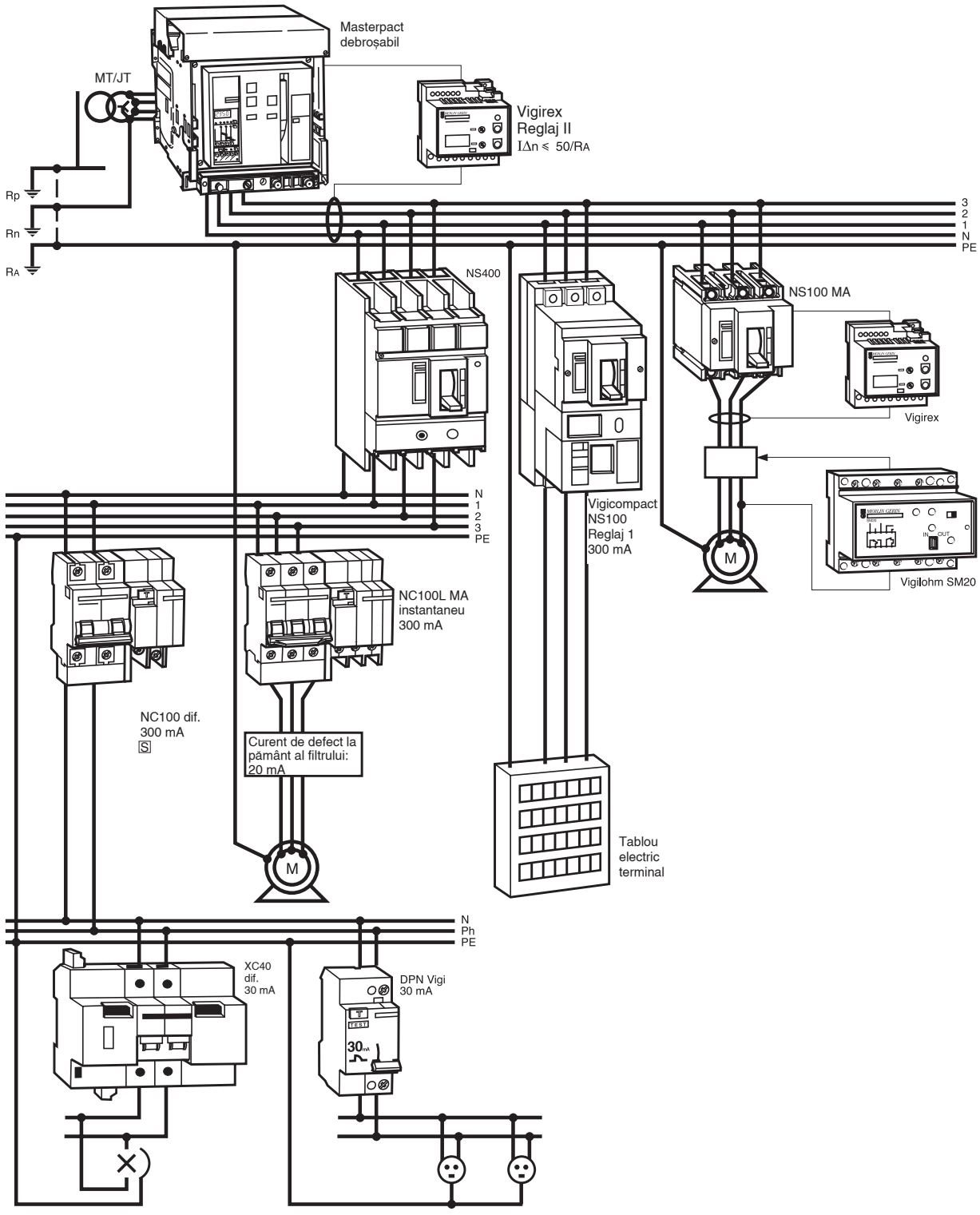



*Fig. F41: Instalație tipică pe 3 nivele: protecția circuitelor de distribuție în sistemul TT. Motorul este protejat printr-o protecție specifică.*

# 6 Implementarea sistemului TN

## 6.1 Condiţii preliminare

La faza de proiectare trebuie luate în calcul lungimile maxime ale cablurilor în aval de întreruptoare sau fuzibile, în timp ce, în practică, la execuţia instalaţiilor electrice trebuie respectate, în mod riguros, anumite reguli.
Anumite condiţii trebuie respectate, aşa cum se indică mai jos şi sunt ilustrate în **Fig. F42**.

**1.** Conductorul de protecţie PE trebuie conectat la priza de pământ cât de bine posibil.

**2.** Conductorul de protecţie PE nu trebuie să treacă prin conducte fero-magnetice, tubulaturi, etc. sau să fie pozat pe suprafeţe de oţel, întrucât anumite efecte inductive şi/sau de vecinătate pot conduce la o creştere a impedanţei efective a acestuia.

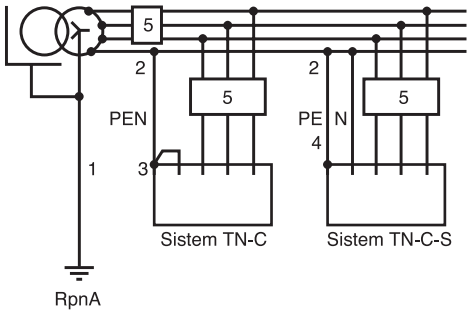
**3.** În cazul conductorului PEN (conductorul de nul de lucru este utilizat de asemenea, şi în calitate de nul de protecţie), conexiunea trebuie făcută direct la borna de împământare a aparatului (vezi **Fig. F42**) înainte de a fi conectat şi la borna de neutru a acestuia.

**4.** Pentru conductoarele de cupru $\leqslant 6mm^2$ şi de aluminiu $\leqslant 10mm^2$ sau acolo unde cablul este mobil, nulurile de lucru şi de protecţie trebuie separate (ex.: în acest caz trebuie adoptat sistemul TN-S).

**5.** Defectele de punere la pământ trebuie eliminate de către dispozitivele de protecţie la supracurenţi, de exemplu: întreruptoare sau fuzibile.

Lista anterioară indică condiţiile care trebuie respectate în implementarea schemei TN pentru protecţia împotriva contactelor indirecte.






***Note:***
- *Schema TN impune ca neutrul transformatorului MT/JT, părţile accesibile conductoare interioare şi exterioare ale postului de transformare şi ale instalaţiei să fie conectate la o priză de pământ comună;*
- *Pentru un post de transformare la care contorizarea se face pe joasă tensiune, se impune utilizarea unui mijloc de separaţie vizibilă la începutul zonei de joasă tensiune;*
- *Conductorul PEN nu poate fi întrerupt în nici o situaţie. Echipamentele de comandă şi protecţie posibil de utilizat în sistemele TN sunt:*
  - ☐ *tripolare atunci când circuitele prezintă conductor PEN,*
  - ☐ *tetrapolar (tripolar + neutru), atunci când circuitul are nulul de lucru separat de cel de protecţie.*

***Fig. F42:*** *Implementarea sistemului TN de tratare a neutrului.*

## 6.2 Protecţia împotriva contactelor indirecte

### Metode de determinare a curenţilor de scurtcircuit

*Trei metode de calcul sunt utilizate în mod uzual:*
- *metoda impedanţelor, bazată pe suma trigonometrică a sistemului de rezistenţe şi reactanţe inductive;*
- *metoda de compunere;*
- *metoda convenţională bazată pe o valoare prezumată a căderii de tensiune şi pe utilizarea de tabele.*

În sistemele TN, un scurtcircuit la pământ determină, de obicei, un curent suficient de mare pentru ca dispozitivul de protecţie la supracurenţi să declanşeze. Impedanţele sursei şi ale reţelei din amonte sunt mult mai mici decât cele ale circuitelor din instalaţie, astfel încât orice limitare a curentului de punere la pământ va fi determinată de conductoarele din instalaţie (conductoarele lungi şi flexibile măresc în mare proporţie impedanţa buclei de defect, ceea ce determină o reducere a curentului de scurtcircuit).
Cele mai recente recomandări ale CEI pentru protecţia împotriva contactelor indirecte în sistemele TN se referă la timpii maximi de declanşare admişi în raport cu tensiunea nominală a sistemului (vezi **Fig. F12**, subcapitolul 3.3).

# 6 Implementarea sistemului TN



Justificarea acestor recomandări este aceea că, în sistemele TN, curentul de defect care trebuie să circule pentru a ridica potențialul părților conductoare accesibile la 50 V sau mai mult, este atât de mare încât poate avea loc una din următoarele două posibilități:
- sau calea de defect se topește singură, practic instantaneu;
- sau conductorul "se sudează" creând un defect net, conducând astfel la o valoare a curentului de defect care să determine declanșarea dispozitivelor de protecție la supracurenți.

Pentru a se asigura o funcționare optimă a dispozitivelor de protecție la supracurenți în ultimul caz, valoarea prezumată a curentului de scurtcircuit cu punere la pământ trebuie calculată cu o precizie rezonabilă încă din faza de proiectare.
O analiză riguroasă necesită utilizarea tehnicilor de descompunere în componente simetrice, pe rând, pentru fiecare circuit. Principiul este simplu dar cantitatea de calcule este greu de justificat, în special pentru impedanțele homopolare care sunt extrem de greu de determinat cu o precizie acceptabilă, în instalațiile de joasă tensiune.
Sunt preferate, prin urmare, alte metode, mai simple, de precizie acceptabilă. Cele trei metode practice sunt:
- **Metoda impedanțelor**, bazată pe suma tuturor impedanțelor buclei de defect (numai de secvența directă), pentru fiecare circuit.
- **Metoda de compunere** care este o estimare a curentului de scurtcircuit la capătul circuitului dinspre sarcină bazată pe cunoașterea valorii curentului de scurtcircuit la capătul circuitului spre sarcină.
- **Metoda convențională** de calcul a valorii minime a curentului de punere la pământ prin utilizarea tabelelor de valori pentru obținerea rapidă de rezultate.

Aceste metode pot fi utilizate în cazul în care cablurile care alcătuiesc bucla de defect sunt alăturate și nu sunt separate prin materiale fero-magnetice.

*Pentru realizarea calculelor, metodele moderne agreează utilizarea programelor speciale de calcul acceptate de autoritățile naționale în domeniu și bazate pe metoda impedanțelor, așa cum este ECODIAL 3. Autoritățile naționale, publică, de asemenea, ghiduri care includ valori tipice, lungimi de conductoare, etc.*

## Metoda impedanțelor

Această metodă are la bază însumarea impedanțelor de secvență directă ale fiecărei componente a buclei de defect (cabluri, conductor de protecție, transformator, etc.) unde este calculat curentul de scurtcircuit de punere la pământ cu ajutorul formulei:

$$I = \frac{U}{\sqrt{(\Sigma R)^2 + (\Sigma X)^2}}$$

unde:
- $(\Sigma R)^2$ = (suma rezistențelor buclei de defect )$^2$ în faza de proiectare
- $(\Sigma X)^2$ = (suma reactanțelor inductive ale buclei de defect )$^2$
- U = tensiunea nominală fază-nul a sistemului.

Aplicarea acestei metode nu este totdeauna ușoară, deoarece presupune cunoașterea tuturor parametrilor și caracteristicilor elementelor buclei de defect. În multe cazuri, ghidurile naționale pot furniza valori tipice în scopul estimării unei valori aproximative.

## Metoda de compunere

Această metodă permite calcularea curentului de scurtcircuit la capătul circuitului pornind de la valoarea cunoscută a curentului de scurtcircuit la capătul dinspre sursă, cu ajutorul formulei aproximative:

$$I = I_{sc}\frac{U}{U+Z_s.I_{sc}}$$

unde
- $I_{sc}$ = valoarea curentului de scurtcircuit din amonte
- I = valoarea curentului de scurtcircuit din aval
- U = tensiunea de fază a sistemului
- $Z_s$ = impedanța circuitului.

**Notă:** Această metodă utilizează suma aritmetică(1) a impedanțelor individuale, spre deosebire de cazul "metodei impedanțelor".

## Metoda convențională

Această metodă se consideră a fi suficient de precisă pentru a stabili valorile maxime pentru lungimile cablurilor.

**Principiu metodei**

Principiul de bază în calculul curentului de scurcircuit este presupunerea că valoarea tensiunii la capătul din amonte al circuitului respectiv (de exemplu: acolo unde este amplasat dispozitivul de protecție) rămâne cca. 80% din valoarea nominală a tensiunii de fază. Această valoare de 80% din valoarea nominală a tensiunii de fază împreună cu impedanța circuitului este utilizată pentru calculul curentului de scurtcircuit.

***(1)*** *În acest fel, valoarea calculată a curentului de scurtcircuit va fi mai mică decât cea reală. Dacă reglajul la supracurent al dispozitivului de protecție se bazează pe această valoare, atunci funcționarea releului de protecție sau a fuzibilului este asigurată.*

Acest coeficient ţine cont de toate căderile de tensiune din amonte până la punctul considerat. În cazul cablurilor de joasă tensiune, când toate conductoarele sistemului trifazat - 4 conductoare sunt învecinate (ceea ce reprezintă cazul normal), reactanţa inductivă internă şi între conductoare este neglijabilă în comparaţie cu rezistenţa cablului.
Această aproximare este considerată corectă pentru cabluri până la 120 mm$^2$.
Peste această secţiune, rezistenţa creşte în felul următor:

| Secţiunea cablului (mm$^2$) | Valoarea rezistenţei |
|---|---|
| S = 150 mm$^2$ | R + 15% |
| S = 185 mm$^2$ | R + 20% |
| S = 240 mm$^2$ | R + 25% |

*Lungimea maximă a oricărui circuit în instalaţiile având sistemul TN este:*

$$\frac{0{,}8\ U_o\ S_{ph}}{\rho(1+m)I_a}$$

Lungimea maximă a unui circuit în sistemul TN este dată de formula:

$$L_{max} = \frac{0{,}8\ U_o\ S_{ph}}{\rho(1+m)I_a}$$

unde:

$L_{max}$ = lungimea maximă, în metri

$U_o$ = tensiunea de fază, în volţi = 230 V pentru sistemul 230/400 V

$\rho$ = rezistivitatea în condiţii normale de temperatură in funcţionare, în $\Omega \times mm^2/m$ (= 22,5 x $10^{-3}$ pentru cupru; = 36 x $10^{-3}$ pentru aluminiu)

$I_a$ = reglajul protecţiei pentru declanşarea instantanee a întreruptorului sau curentul care asigură funcţionarea fuzibilului respectiv, în timpul specificat.

$$m = \frac{S_{ph}}{SPE}$$

$S_{ph}$ = secţiunea conductorului de fază a circuitului considerat, în mm$^2$

SPE = secţiunea conductorului de protecţie a circuitului considerat, în mm$^2$.

(vezi **Fig. F43**).

*Următoarele tabele dau lungimile maxime care trebuie respectate pentru ca persoanele să fie protejate împotriva riscului de contact indirect, de către dispozitivele de protecţie.*

## Tabele

Tabelele următoare ce sunt aplicabile în cazul sistemelor TN, au fost construite pe baza “metodei convenţionale” descrise mai sus.
Tabelele stabilesc lungimile maxime ale circuitelor, dincolo de care rezistenţa conductoarelor limitează valoarea curentului de scurtcircuit până la un nivel inferior celui care determină declanşarea întreruptorului (sau funcţionarea fuzibilului) care protejează circuitul, suficient de rapid pentru a se asigura protecţia împotriva contactului indirect.

**Factorul de corecţie m**

**Tabelul F44** indică factorul de corecţie care trebuie aplicat valorilor date în **Tabelele** de la **F45** până la **F48**, în funcţie de raportul $S_{ph}$/SPE, de tipul de circuit şi de materialul conductorului.
Tabelele iau în considerare:

- tipul de protecţie: întreruptor sau fuzibil;
- reglajul protecţiei;
- secţiunile conductoarelor de fază şi de protecţie;
- sistemul de tratare al neutrului (vezi **Fig. F49** de la pag. F29);
- curba de declanşare a întreruptorului (ex.: B,C sau D ).

Tabelele pot fi utilizate pentru sistemele 230/400 V.
Tabele echivalente pentru protecţie cu ajutorul Compact NS şi Multi 9 (Merlin Gerin) sunt incluse în cataloagele de produs.

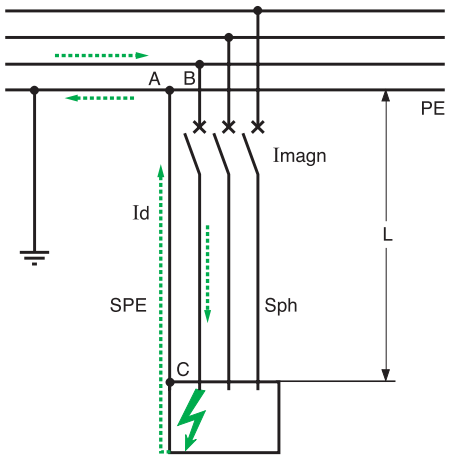



***Fig. F43:*** *Calculul $L_{max}$ în sistemul TN utilizând metoda convenţională.*

| Circuit | Material conductor | m = Sph/SPE (sau PEN) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | m = 1 | m = 2 | m = 3 | m = 4 |
| 3P + N sau P + N | Cupru | 1 | 0,67 | 0,50 | 0,40 |
| | Aluminiu | 0,62 | 0,42 | 0,31 | 0,25 |

***Tab. F44:*** *Factor de corecţie de aplicat lungimilor date în tabelele de la F45 la F48 în sistemul TN.*

*(1) Pentru definiţiile tipurilor B, C şi D de întreruptoare se va consulta capitolul H, subcapitolul 4.2.*

### Circuite protejate prin întreruptoare automate de uz general (Tab. F45)

| Secțiunea nominală a conductoarelor | Reglajul de declanșare instantanee sau temporizată de scurtă durată $I_m$ (A) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm² | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 320 | 400 | 500 | 560 | 630 | 700 | 800 | 875 | 1000 | 1120 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3200 | 4000 | 5000 | 6300 | 8000 | 10000 | 12500 |
| 1,5 | 100 | 79 | 63 | 50 | 40 | 31 | 25 | 20 | 16 | 13 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 6 | 5 | 4 | 4 | | | | | | | | | | |
| 2,5 | 167 | 133 | 104 | 83 | 67 | 52 | 42 | 33 | 26 | 21 | 17 | 15 | 13 | 12 | 10 | 10 | 8 | 7 | 7 | 5 | 4 | | | | | | | | |
| 4 | 267 | 212 | 167 | 133 | 107 | 83 | 67 | 53 | 42 | 33 | 27 | 24 | 21 | 19 | 17 | 15 | 13 | 12 | 11 | 8 | 7 | 5 | 4 | | | | | | |
| 6 | 400 | 317 | 250 | 200 | 160 | 125 | 100 | 80 | 63 | 50 | 40 | 36 | 32 | 29 | 25 | 23 | 20 | 18 | 16 | 13 | 10 | 8 | 6 | 5 | 4 | | | | |
| 10 | | | 417 | 333 | 267 | 208 | 167 | 133 | 104 | 83 | 67 | 60 | 53 | 48 | 42 | 38 | 33 | 30 | 27 | 21 | 17 | 13 | 10 | 8 | 7 | 5 | 4 | | |
| 16 | | | | | 427 | 333 | 267 | 213 | 167 | 133 | 107 | 95 | 85 | 76 | 67 | 61 | 53 | 48 | 43 | 33 | 27 | 21 | 17 | 13 | 11 | 8 | 7 | 5 | 4 |
| 25 | | | | | | | 417 | 333 | 260 | 208 | 167 | 149 | 132 | 119 | 104 | 95 | 83 | 74 | 67 | 52 | 42 | 33 | 26 | 21 | 17 | 13 | 10 | 8 | 7 |
| 35 | | | | | | | | 467 | 365 | 292 | 233 | 208 | 185 | 167 | 146 | 133 | 117 | 104 | 93 | 73 | 58 | 47 | 36 | 29 | 23 | 19 | 15 | 12 | 9 |
| 50 | | | | | | | | | 495 | 396 | 317 | 283 | 251 | 226 | 198 | 181 | 158 | 141 | 127 | 99 | 79 | 63 | 49 | 40 | 32 | 25 | 20 | 16 | 13 |
| 70 | | | | | | | | | | | | 417 | 370 | 333 | 292 | 267 | 233 | 208 | 187 | 146 | 117 | 93 | 73 | 58 | 47 | 37 | 29 | 23 | 19 |
| 95 | | | | | | | | | | | | | | 452 | 396 | 362 | 317 | 283 | 263 | 198 | 158 | 127 | 99 | 79 | 63 | 50 | 40 | 32 | 25 |
| 120 | | | | | | | | | | | | | | | | 457 | 400 | 357 | 320 | 250 | 200 | 160 | 125 | 100 | 80 | 63 | 50 | 40 | 32 |
| 150 | | | | | | | | | | | | | | | | | 435 | 388 | 348 | 272 | 217 | 174 | 136 | 109 | 87 | 69 | 54 | 43 | 35 |
| 185 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 459 | 411 | 321 | 257 | 206 | 161 | 128 | 103 | 82 | 64 | 51 | 41 |
| 240 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 400 | 320 | 256 | 200 | 160 | 128 | 102 | 80 | 64 | 51 |



*Tab. F45: Lungimi maxime de circuite (în metri) pentru diferite secțiuni de conductoare de cupru și reglaje de declanșare instantanee pentru întreruptoare de uz general în sistemul TN, 230/400 V cu m = 1.*

### Circuite protejate prin Compact NS(1) sau Multi 9(1) pentru uz industrial sau casnic (Tab.46 până la Tab.48)

| Sph | Curent nominal (A) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm² | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 10 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 |
| 1,5 | 1200 | 600 | 400 | 300 | 200 | 120 | 75 | 60 | 48 | 37 | 30 | 24 | 19 | 15 | 12 | 10 |
| 2,5 | | 1000 | 666 | 500 | 333 | 200 | 125 | 100 | 80 | 62 | 50 | 40 | 32 | 25 | 20 | 16 |
| 4 | | | 1066 | 800 | 533 | 320 | 200 | 160 | 128 | 100 | 80 | 64 | 51 | 40 | 32 | 26 |
| 6 | | | | 1200 | 800 | 480 | 300 | 240 | 192 | 150 | 120 | 96 | 76 | 60 | 48 | 38 |
| 10 | | | | | | 800 | 500 | 400 | 320 | 250 | 200 | 160 | 127 | 100 | 80 | 64 |
| 16 | | | | | | | 800 | 640 | 512 | 400 | 320 | 256 | 203 | 160 | 128 | 102 |
| 25 | | | | | | | | | 800 | 625 | 500 | 400 | 317 | 250 | 200 | 160 |
| 35 | | | | | | | | | | 875 | 700 | 560 | 444 | 350 | 280 | 224 |
| 50 | | | | | | | | | | | | 760 | 603 | 475 | 380 | 304 |

*Tab. F46: Lungimi maxime de circuite (în metri) pentru diferite secțiuni de conductoare de cupru și curenți nominali pentru întreruptoare automate curbă B(2) în sistemul TN monofazat 230/240 V sau trifazat cu m = 1.*

| Sph | Curent nominal (A) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm² | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 10 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 |
| 1,5 | 600 | 300 | 200 | 150 | 100 | 60 | 37 | 30 | 24 | 18 | 15 | 12 | 9 | 7 | 6 | 5 |
| 2,5 | | 500 | 333 | 250 | 167 | 100 | 62 | 50 | 40 | 31 | 25 | 20 | 16 | 12 | 10 | 8 |
| 4 | | | 533 | 400 | 267 | 160 | 100 | 80 | 64 | 50 | 40 | 32 | 25 | 20 | 16 | 13 |
| 6 | | | | 600 | 400 | 240 | 150 | 120 | 96 | 75 | 60 | 48 | 38 | 30 | 24 | 19 |
| 10 | | | | | 667 | 400 | 250 | 200 | 160 | 125 | 100 | 80 | 63 | 50 | 40 | 32 |
| 16 | | | | | | 640 | 400 | 320 | 256 | 200 | 160 | 128 | 101 | 80 | 64 | 51 |
| 25 | | | | | | | 625 | 500 | 400 | 312 | 250 | 200 | 159 | 125 | 100 | 80 |
| 35 | | | | | | | 875 | 700 | 560 | 437 | 350 | 280 | 222 | 175 | 140 | 112 |
| 50 | | | | | | | | | 760 | 594 | 475 | 380 | 301 | 237 | 190 | 152 |

*Tab. F47: Lungimi maxime de circuite (în metri) pentru diferite secțiuni de conductoare de cupru și curenți nominali pentru întreruptoare automate curbă C(2) în sistemul TN monofazat 230/240 V sau trifazat cu m = 1.*

*(1) Produse marca Merlin Gerin.*
*(2) Pentru definiția protecției întreruptoarelor automate "curbă B" și "curbă C" se va consulta capitolul H, subcapitolul 4.2.*

| Sph | Curent nominal (A) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| mm² | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 10 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 |
| 1,5 | 429 | 214 | 143 | 107 | 71 | 43 | 27 | 21 | 17 | 13 | 11 | 9 | 7 | 5 | 4 | 3 |
| 2,5 | 714 | 357 | 238 | 179 | 119 | 71 | 45 | 36 | 29 | 22 | 18 | 14 | 11 | 9 | 7 | 6 |
| 4 | | 571 | 381 | 286 | 190 | 114 | 71 | 80 | 46 | 36 | 29 | 23 | 18 | 14 | 11 | 9 |
| 6 | | 857 | 571 | 429 | 286 | 171 | 107 | 120 | 69 | 54 | 43 | 34 | 27 | 21 | 17 | 14 |
| 10 | | | 952 | 714 | 476 | 286 | 179 | 200 | 114 | 89 | 71 | 57 | 45 | 36 | 29 | 23 |
| 16 | | | | | 762 | 457 | 286 | 320 | 183 | 143 | 114 | 91 | 73 | 57 | 46 | 37 |
| 25 | | | | | | 714 | 446 | 500 | 286 | 223 | 179 | 143 | 113 | 89 | 71 | 57 |
| 35 | | | | | | | 625 | 700 | 400 | 313 | 250 | 200 | 159 | 125 | 80 | 100 |
| 50 | | | | | | | | 848 | 543 | 424 | 339 | 271 | 215 | 170 | 136 | 109 |

*Tab. F48: Lungimi maxime de circuite (în metri) pentru diferite secțiuni de conductoare de cupru și curenți nominali pentru întreruptoare automate curbă D(1) în sistemul TN monofazat 230/240 V sau trifazat cu m = 1.*

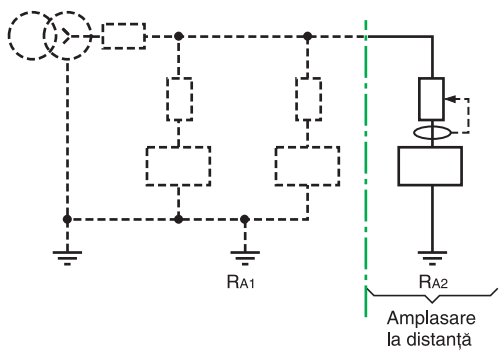



*Fig. F49: Prize de pământ separate.*

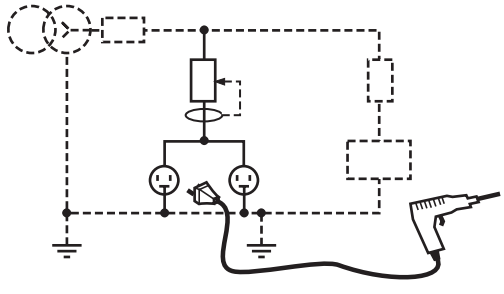


*Fig. F50: Circuit de alimentare pentru prize.*

**Exemplu**
O instalație trifazată cu 4 conductoare are neutrul tratat în sistemul TN-C. Un circuit realizat dintr-un cablu din aluminiu având conductorul de fază cu secțiunea de 50 mm² și PEN de 25 mm² este protejat printr-un întreruptor automat curbă B, având calibrul nominal de 63 A.
Care este lungimea maximă a circuitului până la care protecția persoanelor împotriva contactelor indirecte accidentale este asigurată prin funcționarea releului magnetic instantaneu al întreruptorului automat?
**Tabelul F46** dă, pentru 50 mm² și întreruptor 63 A, curbă B, 603 m, căreia i se aplică un factor de corecție 0,42 (**Tab. F44** pentru $m = \frac{S_{ph}}{SPE} = 2$).

Lungimea maximă a circuitului este, deci: 603 x 0,42 = 253 m.

## Cazul particular în care una sau mai multe părți conductoare accesibile sunt conectate la prize de pământ separate

Trebuie asigurată protecția împotriva contactelor indirecte prin RCD montate pe fiecare circuit care alimentează aparate sau grupuri de aparate ale căror părți conductoare accesibile sunt conectate la prize de pământ separate.
Sensibilitatea acestor dispozitive de curent diferențial rezidual trebuie adaptată în funcție de rezistența prizei de pământ ($R_{A2}$ în **Fig. F49**). A se vedea specificațiile aplicabile sistemului TT.

## 6.3 Dispozitive de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate

În conformitate cu CEI 60364-4-471 dispozitivele de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate (⩽ 30 mA) trebuie utilizate pentru protecția circuitelor de priză având un curent nominal ⩽ 20 A, în toate cazurile. Utilizarea acestor RCD este, de asemenea recomandată în următoarele situații:
- pe circuite de prize amplasate în zone umede oricare ar fi calibrul;
- pe circuite de prize din instalațiile temporare;
- pe circuite care alimentează spălătorii sau bazine de înot;
- pe circuite care alimentează organizările de șantier, rulote, bărci de agrement sau târguri mobile.

A se vedea 2.2 și Capitolul P, secțiunea 3.



*(1) Pentru definiția protecției întreruptoarelor automate "curbă D" se va consulta capitolul H, subcapitol 4.2.*

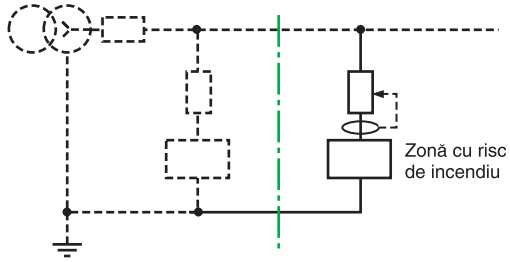



*Fig. F51: Zone cu risc de incendiu.*

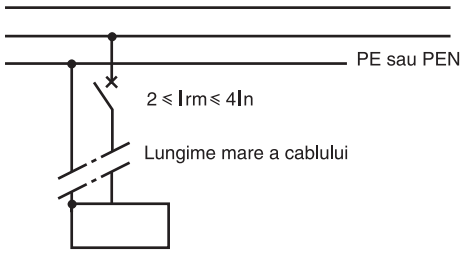



*Fig. F52: Întreruptor cu prag scăzut de declanșare magnetică.*

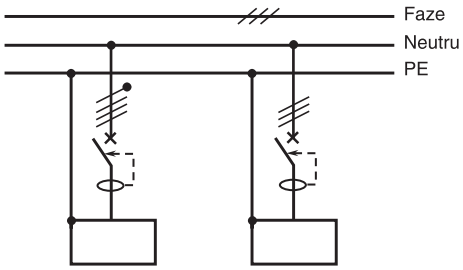



*Fig. F53: Dispozitive de curent diferențial rezidual în sistemele TN în cazul unor bucle de defect de mare impedanță.*

## 6.4 Protecția în zonele cu risc crescut de incendiu

În conformitate cu CEI 60364-422-3.10, în zonele cu risc crescut de incendiu, circuitele trebuie protejate cu RCD de sensibilitate ⩽ 500 mA. Aceasta exclude sistemul TN-C, fiind obligatoriu sistemul TN-S.
Sensibilitatea de 300 mA este obligatorie în anumite țări (vezi **Fig. F51**).

## 6.5 Cazul în care impedanța buclei de defect este de valoare mare

În cazul în care curentul de punere la pământ este limitat, datorită unei impedanțe ridicate a buclei de defect astfel încât dispozitivele de protecție la supracurent nu pot declanșa într-un timp admis, pot fi luate în considerare următoarele posibilități:

**Propunerea 1** (vezi **Fig. F52**):
- ■ instalarea unui întreruptor care are un prag magnetic de valoare mai mică, de exemplu:

$2I_n \leqslant I_{rm} \leqslant 4I_n$

Aceasta permite protecția persoanelor în cazul circuitelor lungi. Trebuie totuși verificat să nu existe declanșări intempestive ale protecției la supracurenți în cazul apariției unor curenți tranzitorii, precum cei de la pornirile de motoare.
- ■ soluții Schneider Electric
- □ întreruptoare Compact cu curba de declanșare tip G ($2I_n \leqslant I_{rm} \leqslant 4I_n$),
- □ întreruptoare Multi 9, curbă B.

**Propunerea 2** (vezi **Fig. F53**)
- ■ instalarea pe circuit a unui dispozitiv de curent diferențial rezidual. Dispozitivul nu trebuie să fie de mare sensibilitate (de la câțiva amperi până la câțiva zeci de amperi). Acolo unde există prize, circuitele trebuie protejate, în orice caz, cu dispozitive de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate (⩽ 30 mA); în general, un dispozitiv de curent diferențial rezidual la un anumit număr de prize pe un circuit comun.
- ■ soluții Schneider Electric
- □ dispozitive de curent diferențial rezidual Multi 9, NG 125: $I_{\Delta n}$ = 1 sau 3 A
- □ Vigicompact REH sau REM : $I_{\Delta n}$ = 3 la 30 A
- □ Întreruptoare Multi 9, curbă B.

**Propunerea 3**
Creșterea secțiunii conductorului de protecție PE sau PEN și/sau a conductoarelor de fază în scopul reducerii impedanței buclei de defect.

**Propunerea 4**
Adaugarea unor conductoare echipotențiale suplimentare. Aceasta are un efect similar propunerii 3, adică reducerea rezistenței buclei de defect, îmbunătățind, în același timp, măsurile de protecție existente împotriva tensiunilor de atingere. Eficiența acestei măsuri poate fi verificată printr-un test de rezistență efectuat între fiecare parte conductoare accesibilă și conductorul local, principal, de protecție.
În cazul sistemelor TN-C, legătura echipotențială indicată în **Fig. F54** nu este permisă, prin urmare, trebuie adoptată propunerea 3.

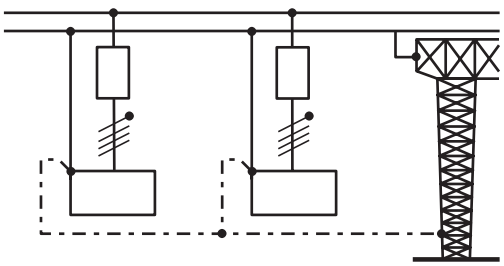


*Fig. F54: Îmbunătățirea legăturii echipotențiale.*

# 7 Implementarea sistemului IT

Caracteristica principală a sistemului IT este aceea că, în eventualitatea unui defect de punere la pământ, sistemul poate continua să funcţioneze. Acest defect se va numi “primul defect”.
În acest sistem, toate părţile conductoare accesibile ale instalaţiei sunt conectate printr-un conductor de protecţie PE la priza de pământ a instalaţiei, în timp ce punctul neutru al transformatorului poate fi:
- fie izolat faţă de pământ
- fie conectat la pământ printr-o impedanţă de valoare foarte mare (în mod normal 1000 Ω sau mai mult).

Aceasta înseamnă că valoarea curentului în cazul unui defect de punere la pământ va fi de ordinul miliamperilor, ceea ce nu determină efecte negative în punctul de defect şi nici nu generează tensiuni de atingere periculoase sau pericol de incediu.
Sistemul poate permite, prin urmare, funcţionarea normală în continuare până când este posibilă intervenţia în scop de remediere.
Prin urmare, acest sistem permite o bună continuitate a serviciilor.
În practică, acest sistem impune anumite măsuri specifice pentru o exploatare satisfăcătoare:
- controlul permanent al izolaţiei în raport cu pământul, ceea ce înseamnă semnalizarea (audio sau vizuală) a producerii primului defect;
- utilizarea unui dispozitiv de limitare a tensiunii pe care punctul neutru al transformatorului o poate atinge în raport cu pământul;
- existenţa unui personal calificat în scopul localizării primului defect. Localizarea primului defect este relativ uşor de realizat cu ajutorul unor dispozitive speciale care sunt disponibile în mod curent;
- montarea unor întreruptoare automate adecvate care să declanşeze în eventualitatea unui al “doilea defect” care s-ar produce înainte de îndepărtarea primului. Al doilea defect (prin definiţie) este un defect de punere la pământ care apare pe un alt conductor activ decât în cazul primului defect, sau pe conductorul neutru(1).

Al doilea defect determină un curent de scurtcircuit prin pământ şi/sau prin legătura conductoarelor (PE) de protecţie.



## 7.1 Condiţii preliminare (vezi **Tab. 55** şi **Fig. 56)**

| Funcţii minimale impuse | Componente şi dispozitive | Exemple |
|---|---|---|
| Protecţia împotriva supratensiunilor la frecvenţa reţelei | (1) Limitator de tensiune | Cardew C |
| Legare la pământ prin rezistor (pentru variaţia impedanţei de legare la pământ) | (2) Rezistor | Impedance Zx |
| Controlul permanent al izolaţiei şi semnalizarea primului defect | (3) Dispozitiv pentru controlul permanent al izolaţiei cu posibilităţi de semnalizare | Vigilohm TR22A sau XM200 |
| Eliminarea automata a celui de-al doilea defect şi protecţia conductoruluide nul împotriva supracurenţilor | (4) Întreruptoare tetrapolare (dacă neutrul este distribuit) cu patru poli protejaţi | Întreruptoare Compact sau RCD-MS |
| Localizarea primului defect | (5) Cu dispozitive pentru localizarea defectului sau prin deschideri succesive de circuite | Sistemul Vigilohm |

***Fig. F55:*** *Funcţiile esenţiale în sistemele IT şi exemple cu produsele Merlin Gerin.*

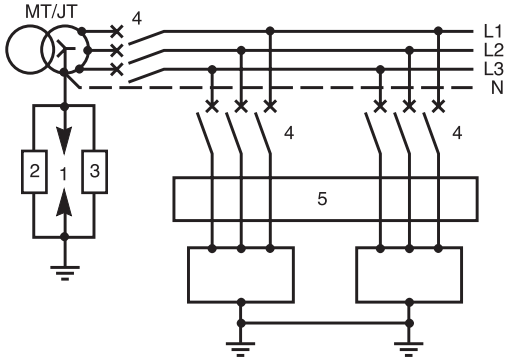



***Fig. F56:*** *Poziţiile funcţiilor esenţiale în sistemul trifazat cu trei conductoare IT.*

***(1)*** *Pentru sistemele cu neutrul distribuit, cum este indicat în* ***Fig. F60****.*

## 7.2 Protecția împotriva contactelor indirecte

*Sistemele moderne de monitorizare existente în prezent facilitează localizarea și îndepărtarea primului defect.*

### Condițiile primului defect

Curentul de punere la pământ care circulă în cazul primului defect este de ordinul de mărime al miliamperilor.
Tensiunea de defect față de pământ este produsul dintre valoarea acestui curent și rezistența prizei de pământ a instalației împreună cu cea a conductorului de protecție PE (măsurat din locul de defect și până la priza de pământ). Această valoare a tensiunii este, în mod evident, nepericuloasă și poate ajunge, în cel mai rău caz, la câțiva volți (ex: printr-o rezistență de 1000 Ω poate trece un curent de 230 mA[1] iar o priză de pământ de slabă calitate, având 50 Ω, poate ajunge la o tensiune de 11,5 V). Obligatoriu, însă, dispozitivul pentru controlul permanent a izolației va semnaliza apariția acestui prim defect în instalație.

**Principiul monitorizării primului defect**

De la un generator de curent de foarte joasă frecvență sau de curent continuu (pentru a reduce efectele capacității cablului până la niveluri neglijabile) se aplică o tensiune între punctul neutru al transformatorului și pământ. Această tensiune determină un curent de valoare mică, în conformitate cu valoarea rezistenței de izolație a întregii instalații în raport cu pământul, care circulă în întreaga instalație, inclusiv prin oricare aparat conectat.
Instrumente de joasă frecvență pot fi utilizate în sistemele de curent alternativ care generează componente tranzitorii de curent continuu în condiții de defect. Anumite variante pot deosebi componentele rezistive de cele capacitive ale curentului de punere la pământ.
Dezvoltări moderne permit urmărirea evoluției defectelor de izolație, prin măsurarea valorilor curenților de punere la pământ care apar, în scopul prevenirii apariției primului defect.

*Sistemele de localizare a defectelor sunt în conformitate cu standardul CEI 61157-9.*

**Exemple de echipamente**

■ Localizarea manuală a defectelor (vezi **Fig. F57**)
Generatorul poate fi de construcție fixă (ex. XM 100) sau portabil (ex. GR10X, care permite verificarea circuitelor scoase de sub tensiune), iar receptorul, împreună cu senzorul magnetic tip clește, sunt portabile.

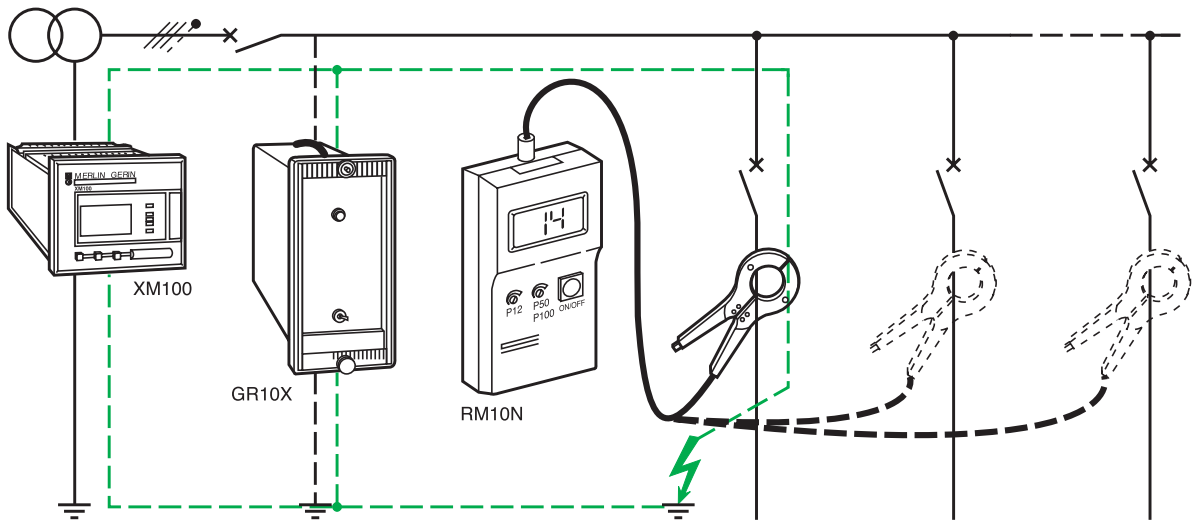



***Fig. F57:*** *Localizarea manuală a defectelor.*

■ localizarea automată a defectelor (vezi **Fig. F58**)
Releul de monitorizare XM100, împreună cu detectoarele fixe XD1 sau XD12 (fiecare conectat la câte un transformator de curent toroidal amplasat pe circuitul respectiv) realizează un sistem automat de localizare a defectelor într-o instalație aflată sub tensiune.
Mai mult, rezistența de izolație este indicată pentru fiecare circuit monitorizat, fiind verificate două nivele: primul nivel avertizează asupra valorii neobișnuite a rezistenței de izolație, astfel încât să poată fi luate măsuri preventive, în timp ce al doilea nivel indică condițiile de defect și îl semnalizează.

***(1)*** *La sistemul trifazat 230/400V.*

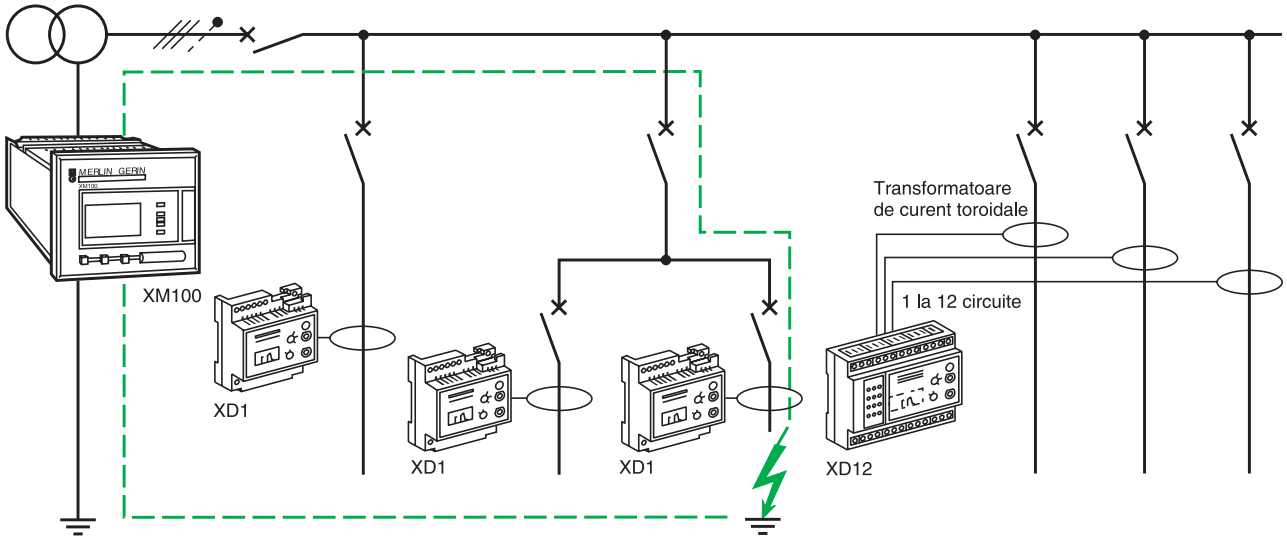



*Fig. F58: Localizarea automată a defectelor.*



■ Monitorizarea automată, înregistrarea datelor și localizarea defectelor (vezi **Fig. F59**)
Sistemul Vigilohm permite, în plus, accesul la o imprimantă și/sau la un calculator (PC) care furnizează astfel, o imagine generală asupra nivelului rezistenței de izolație a întregii instalații și înregistrează evoluția cronologică a izolației la nivelul fiecărui circuit.
Monitorul central XM100, împreună cu detectoarele de localizare XD08 și XD16 asociate transformatoarelor de curent toroidale de pe circuitele respective, așa cum este indicat în **Fig. F59**, reprezintă, în fapt, mijloacele de realizare a acestui mod automat de control a izolației și de înregistrare a datelor.

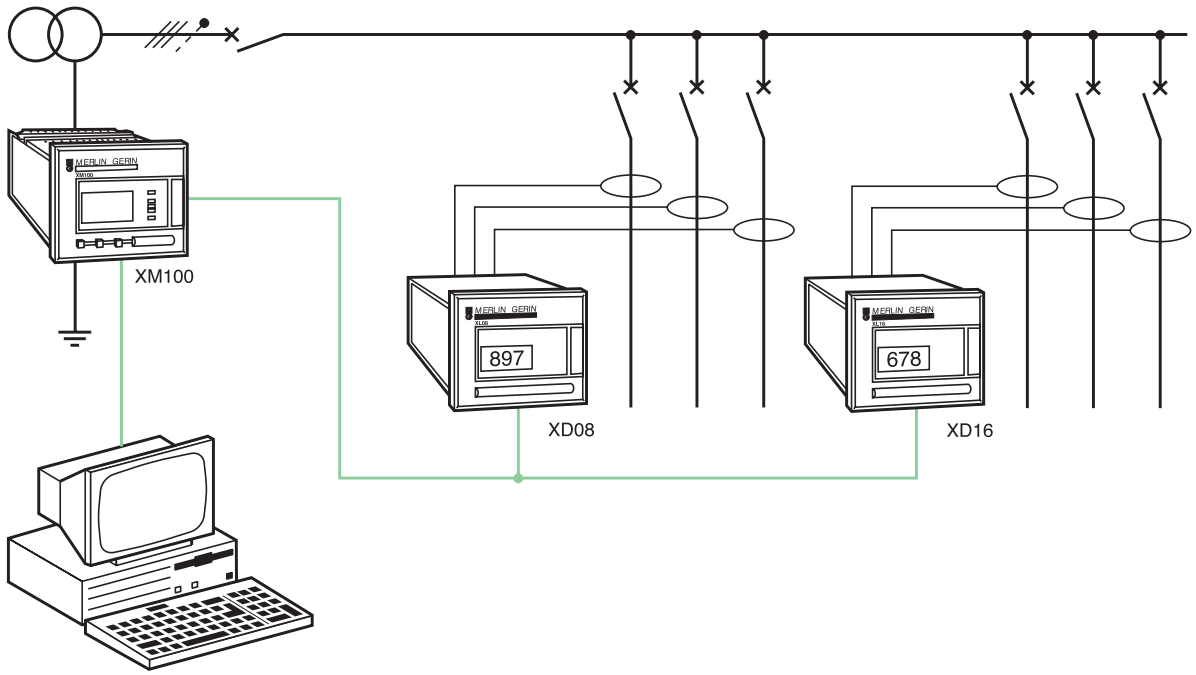



*Fig. F59: Localizarea automată a defectelor și înregistrarea valorilor rezistenței de izolație.*

**Utilizarea dispozitivelor de control și monitorizare permanentă a izolației (CPI )**

■ Conectare

Dispozitivul CPI este conectat, în mod normal, între punctul neutru (sau neutru artificial) al transformatorului și priza sa de pământ.

■ Alimentarea

Alimentarea dispozitivului CPI ar trebui realizată de la o sursă foarte sigură. În practică, aceasta este chiar instalația care urmează a fi monitorizată, prin intermediul dispozitivelor de protecție la supracurenți având praguri adecvate de protecție.

■ Nivele de reglare

Anumite standarde naționale recomandă un prim prag de reglare la 20% sub valoarea rezistenței de izolație a unei instalații noi. Această valoare permite observarea deteriorării izolației, necesitând măsuri preventive de întreținere în cazul unui început de defect.

Nivelul de detectare al unei deteriorări de izolație care necesită semnalizarea defectului se stabilește la o valoare cât mai redusă.

De exemplu, cele două nivele ar putea fi:

☐ valoarea rezistenței de izolație pentru o instalație nouă: 100 kΩ,

☐ curent de defect nepericulos: 500 mA (risc de incendiu: > 500 mA),

☐ nivele reglate indicate de către consumator:

☐ prag pentru intreținere preventivă: 0,8 x 100 = 80 kΩ,

☐ prag pentru alarmă de scurtcircuit: 500 Ω

**Note:**

☐ în urma unei perioade mai lungi de întrerupere a funcționării, în timpul căreia, total sau parțial instalația rămâne nealimentată, umiditatea poate reduce, în general nivelul rezistenței de izolație. Această situație care se datorează în principal curenților de fugă pe suprafețe umede cu izolație sănătoasă nu reprezintă o condiție de defect și se va ameliora rapid odată cu creșterea temperaturii, datorită existenței curenților prin conductoare, care vor reduce umiditatea.

☐ dispozitive CPI (XM) pot măsura, separat, componentele rezistive și capacitive ale curentului de scurgere către pământ. Pornind de la valoarea totală, permanentă a curentului de scurgere astfel măsurat, rezultă valoarea reală a rezistenței de izolație.

## Cazul celui de-al doilea defect

Un al doilea defect de punere la pământ în sistemul IT (dacă nu se produce pe aceeași fază că și primul defect) constituie un defect fază-fază sau fază-neutru și indiferent dacă, are loc pe același circuit cu primul defect, sau pe un circuit diferit, dispozitivele de protecție la supracurent (fuzibile sau întreruptoare) vor funcționa, în mod normal, pentru îndepărtarea sa.

Reglajul releelor de protecție la supracurenți și calibrul fuzibilelor sunt parametri de bază care stabilesc lungimile maxime ale circuitelor care pot fi protejate în mod satisfăcător, așa cum s-a discutat în subcapitolul 6.2.

**Notă:** În mod normal, calea curentului de defect cuprinde conductoarele comune de protecție PE la care sunt conectate toate părțile conductoare accesibile ale instalației, astfel încât, impedanța buclei de defect este destul de mică pentru a se asigura un nivel acceptabil al curentului de defect.

În cazul în care lungimile circuitelor sunt lungi și, în special dacă aparatele de pe diferite circuite sunt conectate la prize de pământ diferite (deci curentul de defect trece prin două prize de pământ), declanșarea releelor de protecție la supracurent nu este posibilă.

În acest caz, este recomandată utilizarea unui (RCD) dispozitiv de curent diferențial rezidual pe fiecare circuit al instalației.

Totuși, in cazul sistemelor IT legate la pământ prin rezistor, trebuie să se acorde atenție acestor dispozitive de curent diferențial rezidual; sensibilitatea lor nu trebuie să fie atât de mică încât să conducă la o declanșare nedorită, în cazul primului defect.

Declanșarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual care sunt în conformitate cu standardele CEI poate avea loc la valori cuprinse între (0,5 la 1)$I_{\Delta n}$, unde $I_{\Delta n}$ este sensibilitatea acestor dispozitive de protecție.

*Trei metode de calcul sunt în mod uzual utilizate:*

■ *metoda impedanțelor, bazată pe suma trigonometrică a sistemului de rezistențe și reactanțe inductive;*

■ *metoda de compunere;*

■ *metoda convențională bazată pe o valoare prezumată a căderii de tensiune și pe utilizarea de tabele.*

**Metode de determinare a valorilor curentului de scurtcircuit**

Estimări cât mai precise ale valorilor curenților de scurtcircuit trebuie făcute încă din faza de proiectare.

O analiză riguroasă nu este necesară atâta timp cât numai amplitudinea curentului este importantă pentru dispozitivele de protecție respective (de ex.: unghiul de defazaj nu este necesar a fi determinat), de aceea, sunt acceptate și utilizate metode aproximative simplificate. Cele trei metode practice sunt următoarele:

■ **Metoda impedanțelor**, bazată pe suma vectorială a tuturor impedanțelor (de secvență directă) ale buclei de defect.

■ **Metoda de compunere** care este o estimare aproximativă a curentului de scurtcircuit la capătul dinspre sarcină al circuitului, bazată pe cunoașterea valorii curentului de scurtcircuit la capătul dinspre sursă al acesteia. Impedanța echivalentă este o sumă aritmetică (la această variantă).

■ **Metoda conventională**, în care valoarea minimă a tensiunii la capătul circuitului dinspre sursă este presupusă a fi cca. 80% din valoarea nominală a tensiunii, și, bazat pe această ipoteză, s-au construit tabele care permit citirea directă a lungimilor maxime admise ale circuitelor.
Aceste metode sunt corecte doar pentru cazurile în care conductoarele care alcătuiesc bucla de defect sunt învecinate și nu sunt separate prin materiale feromagnetice.

*Programul de calcul Ecodial calculează pe baza "metodei impedanțelor".*

**Metoda impedanțelor**
Această metodă este descrisă în subcapitolul 6.2 și este identică pentru cele două sisteme TN și IT.

**Metoda de compunere**
Această metodă este descrisă în subcapitolul 6.2 și este identică pentru cele două sisteme TN și IT.

*Lungimea maximă a unui circuit din sistemul IT este:*

■ *pentru o schemă trifazată cu 3 conductoare*

$$L_{max} = \frac{0{,}8\ U_o \sqrt{3}\ S_{ph}}{2\rho\ I_a(1+m)}$$

■ *pentru o schemă trifazată cu 4 conductoare*

$$L_{max} = \frac{0{,}8\ U_o\ S_1}{2\rho\ I_a(1+m)}$$

**Metoda conventională** (vezi **Fig. F60**)
Principiul acestei metode în cazul sistemului IT este același ca și în cazul sistemului TN, așa cum a fost descris în subcapitolul 6.2: calcularea lungimii maxime a circuitelor în aval de întreruptoare sau fuzibile pentru a se asigura protecția prin declanșarea dispozitivelor de protecție la supracurenți.
În mod clar, este imposibil să se verifice lungimile buclelor de defect pentru toate combinațiile de două defecte care ar putea apărea.
De aceea, toate cazurile sunt acoperite dacă reglajul protecției la supracurent se realizează pe baza prezumției că primul defect se produce la capătul dinspre sarcină al circuitului respectiv, iar al doilea defect de produce, de asemenea la capătul dinspre sarcină al altui circuit identic, așa cum a fost menționat, de altfel în subcapitolul 3.4. Aceasta poate determina, în general, o singură declanșare (pe circuitul având reglajul protecției de valoare mai mică), ceea ce înseamnă, de fapt, un singur circuit scos din funcțiune.
■ În cazul instalațiilor trifazate cu 3 conductoare, al doilea defect poate determina doar un scurtcircuit bifazat, astfel încât, valoarea tensiunii utilizate în formula pentru determinarea lungimii maxime a circuitului este $\sqrt{3}\ U_o$.
Lungimea maximă a circuitului este dată de:

$$L_{max} = \frac{0{,}8\ U_o \sqrt{3}\ S_{ph}}{2\rho\ I_a(1+m)} \text{ (metri)}$$

■ În cazul instalațiilor trifazate cu 4 conductoare, cea mai mică valoare a curentului de defect se va obține în cazul în care unul dintre defecte afectează conductorul neutru. În acest caz, pentru evaluarea lungimii maxime a circuitului se va utiliza valoarea $U_o$ pentru tensiune, și:

$$L_{max} = \frac{0{,}8\ U_o\ S_1}{2\rho\ I_a(1+m)} \text{ (metri)}$$

deci numai 50% din lungimea maximă permisă în cazul sistemului TN[1].

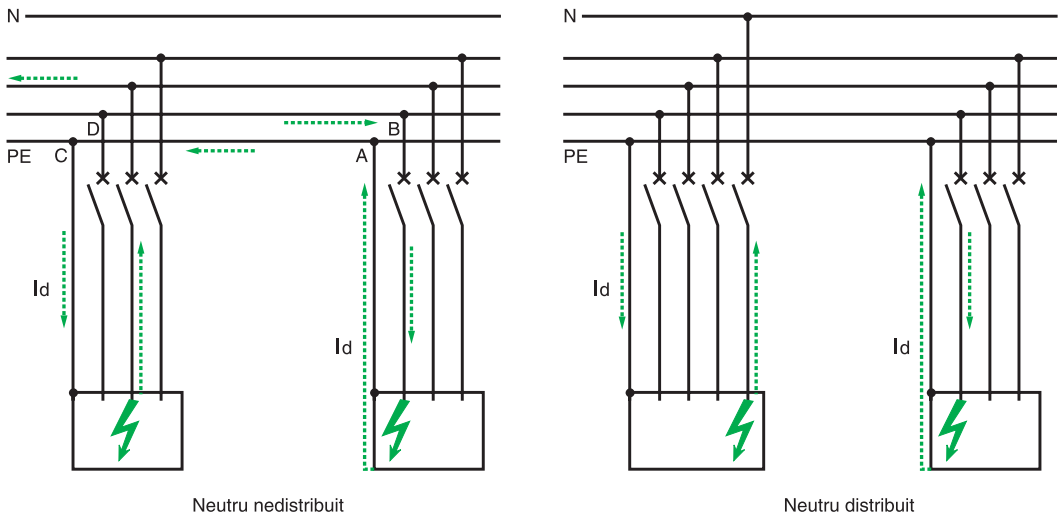



***Fig. F60:*** *Calculul lui $L_{max}$ pentru sistemul IT și indicarea căilor de curent în condițiile celui de-al doilea defect.*

***(1)*** *De reținut: Nu există o lungime limită a circuitelor pentru protecția împotriva defectelor de punere la pământ în schemele TT dacă protecția este asigurată printr-un dispozitiv de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate.*

În formulele precedente:

$L_{max}$ = lungimea maximă a circuitului, în metri

$U_o$ = tensiunea de fază (230 V în sistemele 230/400 V)

$\rho$ = rezistivitatea la temperatură normală de funcționare ($22,5 \times 10^{-3}$ $\Omega$ mm²/m pentru cupru și $36 \times 10^{-3}$ $\Omega$ mm²/m pentru aluminiu)

$I_a$ = reglajul magnetic al protecției la supracurent, în amperi sau $I_a$ = curentul, exprimat în amperi, necesar funcționării fuzibilului în timpul specificat

$$m = \frac{S_{ph}}{SPE}$$

SPE = secțiunea conductorului de protecție, PE, în mm²

$S_1$ = secțiunea conductorului de neutru dacă circuitul conține conductor de neutru

$S_1$ = secțiunea conductorului de fază, $S_{ph}$ dacă circuitul nu conține conductor de neutru.

*Următoarele tabele[1] dau lungimile maxime care trebuie respectate pentru ca persoanele să fie protejate împotriva riscului de contact indirect, de către dispozitivele de protecție.*

**Tabele**

Tabelele următoare au fost construite în conformitate cu "metoda convențională" descrisă mai sus.

Tabelele stabilesc lungimile maxime ale circuitelor, dincolo de care, rezistența conductoarelor limitează valoarea curentului de scurtcircuit până la un nivel inferior celui care determină declanșarea întreruptorului automat (sau funcționarea fuzibilului) care protejează circuitul, suficient de rapid pentru a se asigura protecția împotriva contactului indirect.

Acese tabele iau în considerare următoarele:

- tipul dispozitivului care realizează protecția (întreruptor sau fuzibil) și pragul magnetic al acestuia;
- secțiunea conductoarelor de fază și de protecție;
- sistemul de legare la pământ;
- factorul de corecție: **Tab. F61** indică factorul de corecție care trebuie aplicat lungimilor date în **Tabelele F44** la **F47** în cazul sistemului IT

| Circuit | Materialul conductorului | m = Sph/SPE (sau PEN) m = 1 | m = 2 | m = 3 | m = 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 faze | Cupru | 0,86 | 0,57 | 0,43 | 0,34 |
| | Aluminiu | 0,54 | 0,36 | 0,27 | 0,21 |
| 3 faze + N sau | Cupru | 0,50 | 0,33 | 0,25 | 0,20 |
| 1 fază + N | Aluminiu | 0,31 | 0,21 | 0,16 | 0,12 |

*Tab. F61: Factori de corecție care se aplică lungimilor de circuit date în **Tabelele F45** la **F48** pentru sistemele IT.*

**Exemple**

O instalație trifazată cu trei conductoare 230/400 V are neutrul tratat în sistemul IT. Unul dintre circuite este protejat de un întreruptor de 63 A și este realizat cu cablu din aluminiu de secțiune 50 mm².

Conductorul de protecție PE, de 25 mm², este de asemenea din aluminiu. Care este lungimea maximă acceptabilă a circuitului până la care protecția persoanelor împotriva contactelor indirecte accidentale este asigurată de către releul magnetic instantaneu al întreruptorului?

**Tabelul F46** indică 603 m căreia trebuie să-i aplicăm un factor de corecție de 0,36 (m = 2 pentru cablul din aluminiu).

Prin urmare, lungimea maximă a circuitului este 217 m.

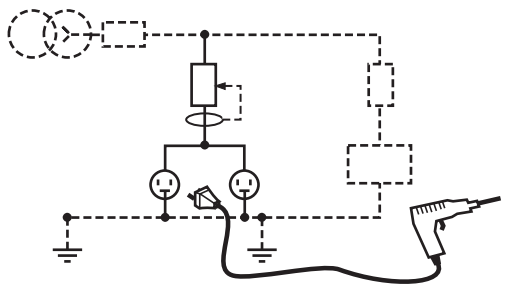


*Fig. F62: Circuite care alimentează prize.*

## 7.3 Dispozitive de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate

În conformitate cu Standardul CEI 60364-4-41 utilizarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual de mare sensibilitate (⩽ 30 mA) este necesară pentru protecția circuitelor de priză având un curent nominal ⩽ 20 A în toate cazurile. Utilizarea RCD este recomandată în următoarele situații:

- circuite de priză amplasate în zonele umede, pentru orice valoare a curentului nominal;
- circuite de priză amplasate în instalații temporare;
- circuite care alimentează incinte pentru spălătorii sau bazine de înot;
- circuite care alimentează organizări de șantier, rulote, bărci de agrement, târguri mobile.

A se vedea 2.2 și Capitolul P, Secțiunea 3.

*(1) Tabelele sunt cele descrise în subcapitolul 6.2 ( **Tab. F45** până la **F48**). Totuși, tabela cu factorii de corecție (**Tab. F61**) care ține cont de raportul Sph/SPE, de tipul circuitului și al materialului conductor, este specifică pentru sistemul IT și diferă de cel pentru sistemul TN.*

## 7.4 Protecţia în zonele cu risc crescut de incendiu

Protecţia cu ajutorul dispozitivelor de curent diferenţial rezidual de sensibilitate ⩽ 500 mA la intrare pentru circuitul de alimentare al unei zone cu risc crescut de incendiu este obligatorie în anumite ţări (vezi **Fig. F63**).
Totuşi, pentru protecţia împotriva riscului de incendiu este preferabilă o sensibilitate de 300 mA.

## 7.5 Cazul în care impedanţa buclei de defect este de valoare mare

În cazul în care curentul de defect de punere la pământ este limitat datorită unei impedanţe ridicate a buclei de defect, astfel încât dispozitivele de protecţie la supracurent nu pot declanşa într-un timp acceptabil, pot fi luate în considerare următoarele posibilităţi:

**Propunerea 1** (vezi **Fig. F64**):
- ■ Instalarea unui întreruptor automat care are un prag magnetic de valoare mai mică, de exemplu:
$2I_n \leqslant I_{rm} \leqslant 4I_n$
Aceasta permite protecţia persoanelor în cazul circuitelor lungi. Trebuie totuşi verificat să nu existe declanşări nedorite ale protecţiei la supracurenţi în cazul apariţiei unor curenţi tranzitorii, precum cei de la pornirile de motoare.
- ■ Soluţii Schneider Electric
- □ întreruptoare Compact tip G ($2I_n \leqslant I_{rm} \leqslant 4I_n$),
- □ întreruptoare Multi 9, curbă B.

**Propunerea 2** (vezi **Fig. F65**)
- ■ Instalarea pe circuit a unui dispozitiv de curent diferenţial rezidual. Dispozitivul nu trebuie să fie de mare sensibilitate (de la câţiva amperi până la câţiva zeci de amperi). Acolo unde există prize circuitele trebuie protejate de dispozitive de curent diferenţial rezidual de mare sensibilitate (⩽ 30 mA); în general un dispozitiv pe circuit la un anumit număr de prize, pe un circuit comun.
- ■ Soluţii Schneider Electric
- □ dispozitive de curent diferenţial rezidual Multi 9, NG 125:
$I_{\Delta n}$ = 1 la 3 A,
- □ Vigicompact REH sau REM: $I_{\Delta n}$ = 3 la 30 A.

**Propunerea 3**
Creşterea secţiunii conductorului de protecţie PE sau PEN şi/sau a conductoarelor de fază în scopul reducerii impedanţei buclei de defect.

**Propunerea 4** (vezi **Fig. F66**)
Adăugarea unor conductoare echipotenţiale suplimentare. Aceasta are un efect similar propunerii 3, adică reducerea rezistenţei buclei de defect, îmbunătăţind, în acelaşi timp, măsurile de protecţie existente împotriva tensiunilor de atingere. Eficienţa acestei măsuri poate fi verificată prin măsurarea rezistenţei, efectuată între fiecare parte conductoare accesibilă şi conductorul local, principal, de protecţie.

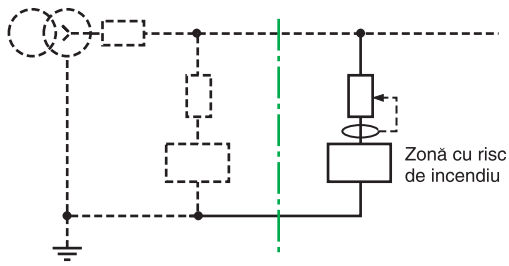



*Fig. F63: Zone cu risc de incendiu.*

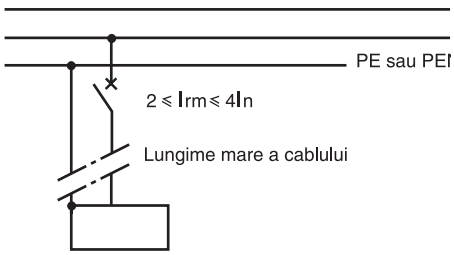



*Fig. F64: Întreruptor automat cu prag magnetic de declanşare de valoare mai mică.*

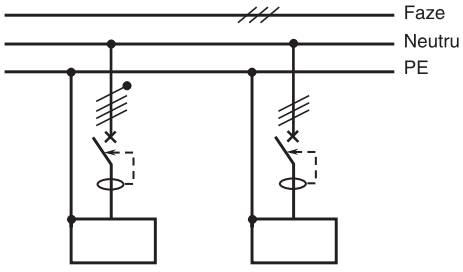



*Fig. F65: Protecţia cu dispozitive de curent diferenţial rezidual.*

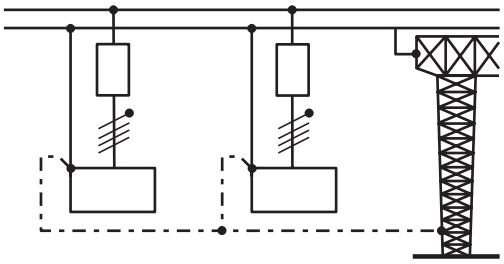


*Fig. F66: Îmbunătăţirea legăturii echipotenţiale.*

# 8 Dispozitive de curent diferențial rezidual (RCD)



## 8.1 Descriere

### Principiu

Caracteristicile principale ale dispozitivelor de curent diferențial rezidual sunt prezentate în **Fig. F67**.
Un circuit magnetic închis cuprinde toate conductoarele parcurse de curent ale unui circuit astfel încât fluxul magnetic generat în miez va depinde în orice moment de suma aritmetică a curenților; curenții circulând în aceeași direcție se vor considera ca fiind pozitivi ($I_1$), iar cei care circulă în direcție opusă, negativi ($I_2$).
Într-un circuit fără defect, în funcționare normală, $I_1 + I_2 = 0$ și, prin urmare, nu va exista flux magnetic în miez, iar tensiunea electromotoare indusă în bobină va fi de asemenea zero.
Un curent de punere la pământ $I_d$ va circula prin miezul magnetic către defect dar se va întoarce către sursă via priză de pământ sau via conductor de protecție, în sistemul TN.
Prin urmare suma aritmetică a curenților care traversează miezul magnetic este diferită de 0 iar această diferență creează un flux magnetic în miez.
Diferența de curent este denumită “curent rezidual” iar principiul este cunoscut drept “principiul curentului diferențial rezidual”.
Fluxul alternativ rezultant în miezul magnetic induce o tensiune electromotoare în bobină astfel încât curentul $I_3$ circulă prin bobina de acționare a dispozitivului de declanșare. Dacă curentul rezidual depășește valoarea impusă pentru funcționarea dispozitivului de declanșare fie direct fie prin intermediul unui releu electronic, atunci întreruptorul automat asociat va declanșa.

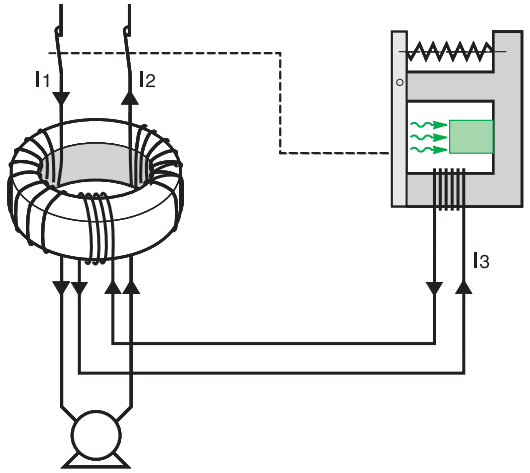



***Fig. F67:*** *Principiul de funcționare al dispozitivelor de curent diferențial rezidual.*

*Curenții permanenți de scurgere la pământ care există și care nu se datorează unor defecte, cum ar fi supratensiunile tranzitorii, pot conduce la declanșări nedorite ale dispozitivelor de curent diferențial rezidual. Anumite tehnici au fost dezvoltate pentru a preîntâmpina astfel de probleme de funcționare.*

## 8.2 Recomandări pentru utilizarea dispozitivelor de curent diferențial rezidual

### Curenți permanenți de scurgere la pământ

Orice instalație de joasă tensiune are un curent permanent de scurgere la pământ care se datorează:
- inegalității[1] dintre capacitățile intrinsece ale conductoarelor active în raport cu pământul a celor trei faze, în cazul circuitelor trifazate;
- capacității dintre conductoarele active și pământ în cazul circuitelor monofazate.

Cu cât instalația este mai extinsă cu atât capacitatea sa este mai mare și în consecință prezintă curenți de scurgere la pământ mai mari.
Curentul capacitiv către pământ crește uneori semnificativ datorită condensatoarelor de filtrare asociate echipamentelor electronice (automatizări, sisteme informatice, etc.).
În absența unor date mai precise curentul de scurgere la pământ într-o instalație poate fi estimat pornind de la următoarele valori măsurate la 230V/50Hz:
- circuite monofazate sau trifazate: 1,5 mA/100 m;
- încălzire prin pardoseală: 1 mA/kW;
- aparate tip fax-uri: 1mA;
- puncte de lucru cu tehnologie informatică: 2 mA;
- terminal informatic (PC): 2 mA;
- imprimantă: 1 mA;
- fotocopiator: 1,5 mA.

***(1)*** *În sistemele trifazate curenții capacitivi de scurgere la pământ ar fi zero dacă conductoarele celor trei faze ar avea capacități egale în raport cu pământul, condiție care în practică nu poate fi realizată.*

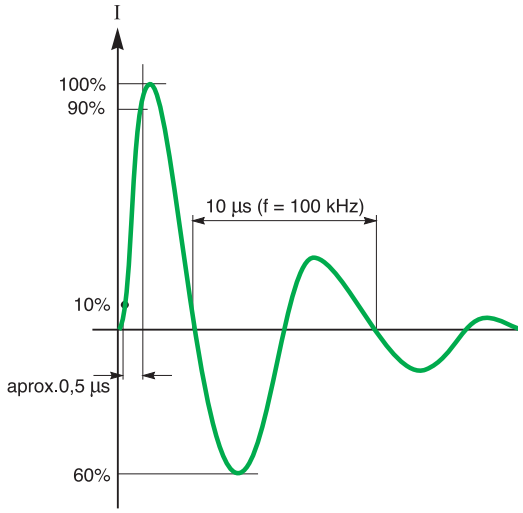



*Fig. F68: Forma de undă standardizată a curenţilor tranzitorii 0,5 µs/100 Hz.*

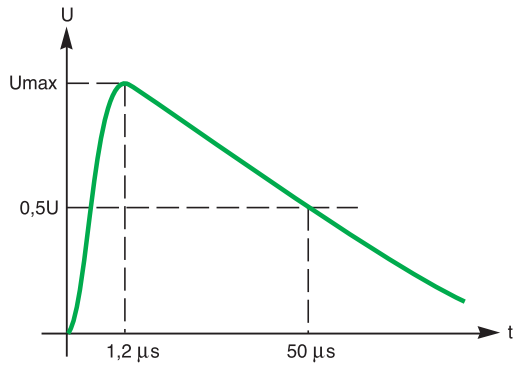



*Fig. F69: Forma de undă standardizată de impuls de tensiune 1,2/50 µs*

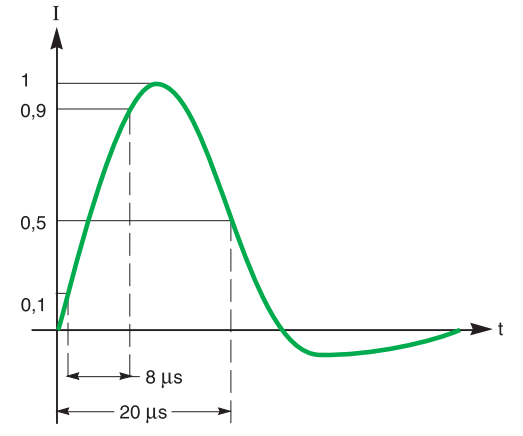



*Fig. F70: Forma de undă de impuls de curent standardizată 8/20 µs.*

Întrucât dispozitivele de curent diferenţial rezidual sunt în conformitate cu standadele CEI şi cu multe standarde naţionale, acestea funcţionează în intervalul (0,5 ...1) $I_{\Delta n}$ pentru o valoare nominală $I_{\Delta n}$. Prin urmare curenţii de scurgere la pământ în aval de un dispozitiv de protecţie împotriva curentului rezidual nu vor depăşi 0,5 $I_{\Delta n}$.
În practică limitarea curenţilor de scurgere la pământ la 0,25 $I_{\Delta n}$ prin divizarea circuitului poate elimina declanşările nedorite.
În cazuri particulare precum extinderile sau renovările parţiale în instalaţiile IT trebuie consultaţi producătorii.

## Curenţii tranzitorii de scurgere la pământ

### Punerea sub tensiune

Punerea sub tensiune a capacităţilor menţionate mai sus determină creşterea unor curenţi tranzitorii de înaltă frecvenţă şi de foarte scurtă durată similari celor arătaţi în **Fig. F68**.
Apariţia bruscă a primului defect într-un sistem IT generează de asemenea curenţi tranzitorii de scurgere la pământ, de înaltă frecvenţă datorită creşterii bruşte a tensiunii de fază la valoarea tensiunii de linie, pe cele două faze neafectate.

### Supratensiuni de mod comun

Reţelele electrice de putere sunt supuse unor supratensiuni de origine diferită: atmosferică, sau datorită unor schimbări bruşte a condiţiilor de funcţionare ale sistemului (defecte, funcţionarea fuzibilelor, comutaţii, etc.) Aceste schimbări bruşte determină deseori tensiuni şi curenţi tranzitorii mari în circuitele inductive şi capacitive înainte de atingerea unei stări stabile. Anumite înregistrări au stabilit faptul că, în sistemele de joasă tensiune, supratensiunile rămân în general sub 6 kV şi că acestea pot fi reprezentate adecvat prin forme de undă convenţionale de tip impuls 1,2/50 µs (vezi **Fig. F69**).
Aceste supratensiuni determină creşteri ale curenţilor tranzitorii reprezentaţi prin forma de undă de impuls de curent convenţională 8/20 µs, având o valoare de vârf de câţiva zeci de amperi (vezi **Fig. F70**).
Curenţii tranzitorii circulă către pământ prin capacităţile instalaţiei, descărcătoare sau prin defecte de izolaţie.

### Imunitatea la regimuri tranzitorii

Fiecare dispozitiv de curent diferenţial rezidual trebuie să aibă un nivel minim de imunitate la declanşări nedorite în conformitate cu cerinţele din **Tab. F71**.
Dispozitivele de curent diferenţial rezidual tip “S” sau temporizate nivel I sau II (vezi **Fig. F38**) acoperă toate valorile curenţilor tranzitorii de scurgere la pământ inclusiv cei ai descărcătoarelor cu durată mai mică de 40 ms.
Tensiunile şi curenţii tranzitorii de înaltă frecvenţă (sau impulsurile unidirecţionale) menţionaţi mai sus împreună cu alte surse de perturbaţii electromagnetice (bobinele contactoarelor, releele, contactele uscate), descărcările electrostatice şi formele de undă electromagnetice radiante (radio, sistemele de amorsare, etc.) sunt parte ale domeniului din ce în ce mai important al compatibilităţii electromagnetice. Pentru alte detalii pot fi consultate Caietele Tehnice nr. 120 şi 149 ale Schneider Electric.
Este esenţial ca dispozitivele de curent diferenţial rezidual să fie imune la posibila funcţionare defectuoasă produsă de efectele perturbaţiilor electromagnetice.

| Perturbaţie | Test | Valori impuse |
|---|---|---|
| Supratensiuni | Impuls 1,2/50 µs | 6 kV vârf |
| Curent tranzitoriu | Impuls 0,5 µs/100 kHz | 200 A vârf(1) |
| | Impuls 8/20 µs | 200 A vârf<br>60 A vârf pentru 10 mA RCD<br>5 kA vârf pentru RCD tip “S” sau temporizat (vezi nota) |
| Comutaţie | Impulsuri tranzitorii repetitive CEI 61000-4-4 | 4 kV |
| Electricitate statică | Descărcări electrostatice CEI 61000-4-2 | 8 kV |
| Unde radiante | Câmpuri electromagnetice CEI 61000-4-3 | 3 V/m |

***(1)** Pentru dispozitivele de curent diferenţial rezidual având $I_{\Delta n}$ < 10 mA acest test nu este cerut (CEI 61008-1).*
***Notă:** Dispozitivele temporizate de curent diferenţial rezidual sunt amplasate în mod normal în vecinatatea sursei de alimentare a intalaţiei, unde supracurenţii de origine externă au valorile cele mai mari. Testul de curent de vârf de 5 kA reflectă această cerinţă de înaltă performanţă.*

*Tab. F71: Testele privind nivelele admisibile din punct de vedere al compatibilităţii electromagnetice pentru dispozitivele de curent diferenţial rezidual.*

# 8 Dispozitive de curent diferențial rezidual (RCD)

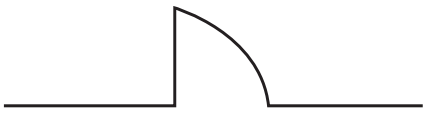


*Fig. F72: Simbol standardizat în anumite țări pentru a indica protecția împotriva funcționării incorecte datorate regimurilor tranzitorii.*

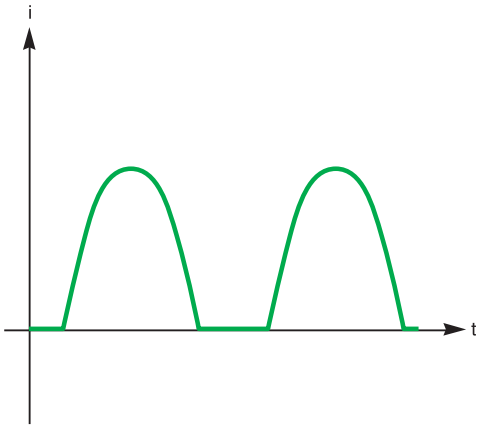
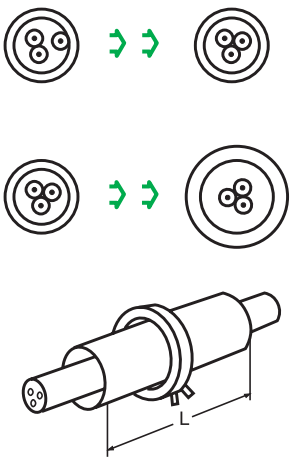



*Fig. F73: Curent continuu.*




L = dublul diametrului miezului magnetic

*Fig. F74: Trei măsuri pentru reducerea raportului $I_{\Delta n}/I_{ph}$ (max).*

În practica, nivelele indicate în **Tab. F71** sunt în conformitate cu specificațiile de proiectare și execuție.
Dispozitivele de curent diferențial rezidual tip "**A Si**" (marcate prin simbolul din **Fig. F72**) evită declanșările nedorite în cazul rețelelor poluate, efectelor trăsnetelor, curenților de înaltă frecvență, componentelor de c.c., regimurilor tranzitorii, temperaturii scăzute de funcționare (-25° C).

## Imunitatea față de componentele de curent continuu (vezi **Fig. F73**)

Sursele auxiliare de curent continuu pentru comandă și semnalizare pentru echipamentele electrice și mecanice sunt uzuale, iar anumite aparate includ și scheme redresoare (diode, triace, tiristoare).
În eventualitatea unui defect de punere la pământ în aval de astfel de scheme redresoare, curentul de defect poate conține și componente de curent continuu.
Riscul de a exista și astfel de componente depinde de gradul de izolație al circuitelor de curent continuu din aparatele respective și fiecare caz trebuie analizat separat.
Probleme de acest tip apar de obicei în cazul aplicațiilor industriale.
Standardele CEI clasifică RCD-urile în funcție de capacitatea lor de a funcționa corect în prezența componentelor de curent continuu în structura curentului rezidual.
- Dispozitive clasă AC: funcționează doar în cazul unui curent rezidual alternativ;
- Dispozitive clasă A: funcționează în cazul unui curent rezidual pulsatoriu;
- Dispozitive clasă B: funcționează în cazul unui curent rezidual continuu.

**Notă:** În general, se utilizează dispozitive de curent diferențial rezidual de clasă AC.
Dispozitivele de clasă A se utilizează în cazul unor cerințe speciale ca o variantă specială a dispozitivelor AC.

## Recomandări referitoare la instalarea RCD-urilor cu transformatoare de curent toroidale separate

Detectorul curentului rezidual este un circuit magnetic închis (de obicei circular) având permeabilitatea magnetică foarte ridicată pe care este realizată înfășurarea unei bobine, ansamblul constituind un transformator de curent toroidal (sau de tip inel).
Datorită permeabilității sale ridicate, orice abatere de la o simetrie perfectă a conductoarelor care trec prin miezul magnetic, precum și învecinarea cu materiale feroase (carcase din oțel, șasie, etc.) pot afecta suficient de mult echilibrul fluxurilor magnetice, mai ales în cazul sarcinilor mari (pornire de motoare, curentul de magnetizare la punerea sub tensiune a transformatoarelor , etc.), astfel încât pot genera declanșări nedorite a dispozitivelor de curent diferențial rezidual.
Dacă nu sunt luate măsuri speciale, raportul dintre curentul de funcționare $I_{\Delta n}$ și curentul de fază maxim $I_{ph}$ (max) este, în general mai mic decât 1/1000.
Acest raport poate fi micșorat în mod substanțial (adică aparatul să fie desensibilizat) prin adoptarea măsurilor indicate în **Fig. F74** și sumarizate în **Tab. F75**.

| Măsuri | Diametru (mm) | Factor de reducerea sensibilității |
|---|---|---|
| Amplasarea atentă, în mod simetric, a conductoarelor în interiorul miezului magnetic | | 3 |
| Supradimensionarea miezului magnetic | Ø50 la Ø100 | 2 |
| | Ø80 la Ø200 | 2 |
| | Ø120 la Ø300 | 6 |
| Utilizarea unor ecrane din oțel sau manșoane din fier moale | Ø50 | 4 |
| ■ cu grosimea 0,5 mm | Ø80 | 3 |
| ■ de lungime dublă diametrului miezului magnetic | Ø120 | 3 |
| ■ "îmbrăcarea" completă a conductoarelor și depășirea miezului magnetic în mod egal, la ambele capete | Ø200 | 2 |

Aceste măsuri pot fi combinate. Printr-o centrare atentă a conductoarelor în interiorul unui miez magnetic de diametru 200 mm, când miezul de diametru de 50 mm este suficient, și utilizând un manșon, raportul 1/1000 poate deveni 1/30000.

*Tab. F75: Măsuri pentru reducerea raportului $I_{\Delta n}/I_{ph}$ (max).*

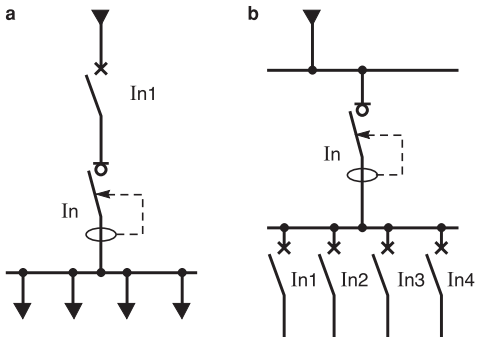



*Fig. F76: Întreruptor automat cu dispozitiv de curent diferențial rezidual.*

## Alegerea caracteristicilor unui întreruptor cu dispozitiv de curent diferențial rezidual (RCCB - CEI 61008)

### Curentul nominal

Curentul nominal al unui întreruptor cu dispozitiv de curent diferențial rezidual este ales în funcție de valoarea maximă a curentului de sarcină pe care îl poate suporta.

- dacă întreruptorul cu dispozitiv de curent diferențial rezidual este conectat în serie, în aval de un întreruptor, curentul nominal al ambelor dispozitive de protecție trebuie să fie același, de exemplu: $In \geqslant In1^{(1)}$ (vezi **Fig. F76a**);
- dacă întreruptorul cu dispozitiv de curent diferențial rezidual este conectat în amonte de un grup de circuite protejate de întreruptoare, așa cum se arată în **Fig. F76b**, atunci curentul nominal al acestuia este dat de:

$In \geqslant ku \times ks\ (In1 + In2 + In3 + In4)$.

### Cerințele de comportare electrodinamică

Protecția împotriva scurtcircuitelor trebuie realizată de către dispozitivele de protecție împotriva curenților de scurtcircuit amplasate în amonte, dar se consideră faptul că, acolo unde dispozitivul de curent diferențial rezidual este amplasat în același tablou electric de distribuție (în conformitate cu standardele în vigoare) ca și întreruptoarele (fuzibilele) din aval, protecția la curentul de scurtcircuit realizată de aceste întreruptoare este o soluție adecvată.

În toate cazurile este necesară o coordonare între dispozitivele de curent diferențial rezidual și dispozitivele de protecție împotriva curenților de scurtcircuit, iar producătorii furnizează, în general, tabele de coordonare (vezi **Tab. F77**).



**Întreruptoare automate și dispozitive de curent diferențial rezidual asociate - Isc max (ef), în kA**

| Întreruptorul automat din amonte | | | DT40 | DT40N | C60N | C60H | C60L | C120N | C120H | NG125N | NG125H |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RCBB în aval | 2P | I 20A | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 3 | 4,5 | 4,5 | 4,5 |
| | 230V | IN-A 40A | 6 | 10 | 20 | 30 | 30 | 10 | 10 | 15 | 15 |
| | | IN-A 63A | 6 | 10 | 20 | 30 | 30 | 10 | 10 | 15 | 15 |
| | | I 100A | | | | | | 15 | 15 | 15 | 15 |
| | 4P | I 20A | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| | 400V | IN-A 40A | 6 | 10 | 10 | 15 | 15 | 7 | 7 | 15 | 15 |
| | | IN-A 63A | 6 | 10 | 10 | 15 | 15 | 7 | 7 | 15 | 15 |
| | | NG 125NA | | | | | | 10 | 16 | 25 | 50 |

**Fuzibile și dispozitive de curent diferențial rezidual asociate - Isc max (ef), în kA**

| Fuzibil gG amonte | | | 20A | 63A | 100A | 125A |
|---|---|---|---|---|---|---|
| RCBB în aval | 2P | I 20A | 8 | | | |
| | 230V | IN-A 40A | | 30 | 20 | |
| | | IN-A 63A | | 30 | 20 | |
| | | I 100A | | | 6 | |
| | 4P | I 20A | 8 | | | |
| | 400V | IN-A 40A | | 30 | 20 | |
| | | IN-A 63A | | 30 | 20 | |
| | | NG 125NA | | | | 50 |

*Fig. F77: Coordonarea tipică dată de producător între dispozitive de curent diferențial rezidual, întreruptoare și fuzibile (produse Merlin Gerin).*

***(1)** Anumite standarde includ și un test termic de ținere la un curent mai mare decât In pentru a se asigura corecta coordonare a protecțiilor.*

# Capitolul G
# Dimensionarea și protecția circuitelor

## Cuprins


| | | |
|---|---|---|
| 1 | **Generalități** | **G2** |
| | 1.1 Metodologie și definiții | G2 |
| | 1.2 Principiile protecției la supracurent | G4 |
| | 1.3 Valori practice pentru o schemă de protecție | G4 |
| | 1.4 Amplasarea dispozitivelor de protecție | G6 |
| | 1.5 Conductoare în paralel | G6 |
| 2 | **Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor** | **G7** |
| | 2.1 Generalități | G7 |
| | 2.2 Metoda generală pentru cabluri | G7 |
| | 2.3 Metoda simplificată recomandată pentru cabluri | G16 |
| | 2.4 Sisteme de bare capsulate | G18 |
| 3 | **Determinarea căderii de tensiune** | **G20** |
| | 3.1 Limita maximă a căderii de tensiune | G20 |
| | 3.2 Calculul căderii de tensiune în condiții de funcționare în regim permanent | G21 |
| 4 | **Curentul de scurtcircuit** | **G24** |
| | 4.1 Curentul de scurtcircuit la bornele de joasă tensiune ale transformatoarelor de distribuție MT/JT | G24 |
| | 4.2 Curentul de scurtcircuit trifazat ($I_{sc}$) în orice punct al unei instalații de joasă tensiune | G25 |
| | 4.3 Curentul de scurtcircuit $I_{sc}$ la capătul circuitului dinspre sarcină în funcție de valoarea $I_{sc}$ la capătul dinspre sursă | G28 |
| | 4.4 Curentul de scurtcircuit generat de un alternator sau de un invertor | G29 |
| 5 | **Cazuri particulare ale curentului de scurtcircuit** | **G30** |
| | 5.1 Calculul valorilor minime ale curentului de scurtcircuit | G30 |
| | 5.2 Verificarea stabilității termice a cablului în condiții de scurtcircuit | G35 |
| 6 | **Conductoare de protecție PE** | **G37** |
| | 6.1 Conectare și alegere | G37 |
| | 6.2 Dimensionare | G38 |
| | 6.3 Conductorul de protecție dinspre transformatorul MT/JT și tabloul general de distribuție (TGJT) | G40 |
| | 6.4 Conductorul de echipotențialitate | G41 |
| 7 | **Conductorul neutru** | **G42** |
| | 7.1 Dimensionarea conductorului neutru | G42 |
| | 7.2 Protecția conductorului neutru | G44 |
| | 7.3 Întreruperea conductorului neutru | G44 |
| | 7.4 Separarea conductorului neutru | G44 |
| 8 | **Exemple de calcul pentru cabluri** | **G46** |

# 1 Generalități

*Părțile componente ale circuitelor și protecțiile lor sunt calculate astfel încât toate condițiile de funcționare, normale sau anormale, să fie îndeplinite.*

## 1.1 Metodologie și definiții

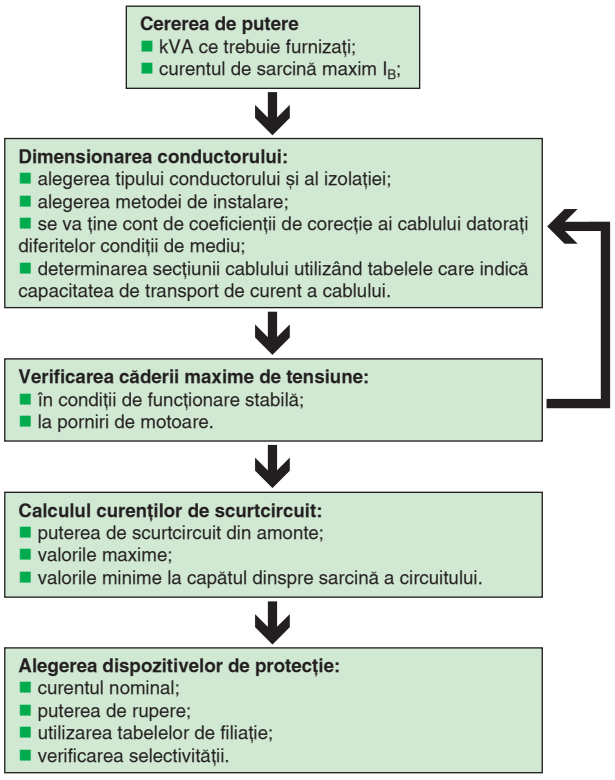
### Metodologie (vezi Fig. G1)

După o analiză preliminară care stabilește cerințele de putere ale unei instalații electrice, așa cum s-a indicat în capitolul B, subcapitolul 4, trebuie realizat un studiu din punct de vedere al cablajului[1] și al protecției acesteia, pornind de la originea instalației, trecând prin zonele intermediare și până la circuitele finale.
La fiecare nivel cablurile și protecțiile acestora, trebuie să îndeplinească simultan câteva condiții, pentru a avea garanția unei instalații sigure, și anume:
- să suporte curentul de sarcină permanent și, pe termen scurt, supracurenți;
- să nu genereze căderi de tensiune ce ar avea ca urmare performanțe scăzute ale anumitor sarcini, de exemplu: un timp de accelerație excesiv de lung la pornirea motoarelor, etc.

În plus, dispozitivele de protecție (întreruptoarele automate sau fuzibilele) trebuie:
- să protejeze cablurile și barele de distribuție pentru toate valorile de supracurent, incluzând și curenții de scurtcircuit;
- să asigure protecția persoanelor împotriva contactelor indirecte accidentale, în mod special în cazul sistemelor TN și IT, unde lungimea circuitelor poate limita valorile curenților de scurtcircuit, întârziind astfel deconectarea automată (trebuie amintit faptul că, în cazul sistemelor TT instalațiile sunt, în mod obligatoriu, protejate de către dispozitive de curent diferențial rezidual, în general, de sensibilitate 300 mA).

Secțiunile conductoarelor sunt determinate de obicei prin metoda generală descrisă în subcapitolul 2 din cadrul acestui capitol. Pe lângă această metodă, anumite standarde naționale pot recomanda o anumită secțiune minimă care trebuie respectată din motive de rezistență mecanică. Sarcinile particulare (cum se arată în capitolul N) impun o supradimensionarea a secțiunii cablurilor care le alimentează și prin urmare dispozitivele lor de protecție vor fi stabilite în consecință.




Cererea de putere
kVA ce trebuie furnizați;
curentul de sarcină maxim $I_B$;
Dimensionarea conductorului:
alegerea tipului conductorului și al izolației;
alegerea metodei de instalare;
se va ține cont de coeficienții de corecție ai cablului datorați diferitelor condiții de mediu;
determinarea secțiunii cablului utilizând tabelele care indică capacitatea de transport de curent a cablului.
Verificarea căderii maxime de tensiune:
în condiții de funcționare stabilă;
la porniri de motoare.
Calculul curenților de scurtcircuit:
puterea de scurtcircuit din amonte;
valorile maxime;
valorile minime la capătul dinspre sarcină a circuitului.
Alegerea dispozitivelor de protecție:
curentul nominal;
puterea de rupere;
utilizarea tabelelor de filiație;
verificarea selectivității.

***Tab. G1:*** *Diagrama logică de alegere a secțiunii conductoarelor și a dispozitivelor de protecție pentru un circuit dat.*

***(1)*** *În acest capitol, termenul de "cablaj" se referă la toate conductoarele izolate, inclusiv cablurile unifilare și multifilare, precum și la conductoarele izolate pozate în tub, etc.*

## Definiţii

**Curentul maxim de sarcină: $I_B$**

■ La nivelul circuitelor finale, acest curent corespunde sarcinii nominale exprimate în kVA. În cazul pornirilor de motoare sau a altor sarcini care absorb la pornire un curent ridicat, mai ales în aplicaţiile cu porniri dese (exemplu: motoare de lift, sudură, etc.) trebuie luate în considerare efectele termice cumulative ale acestor supracurenţi. Sunt afectate atât cablurile cât şi releele termice de protecţie.

■ La nivelul circuitelor din amonte, acest curent corespunde puterii aparente de alimentare, în kVA, care ţine cont de coeficienţii de simultaneitate şi de utilizare $k_s$ şi, respectiv $k_u$, aşa cum se arată în **Fig. G2**.

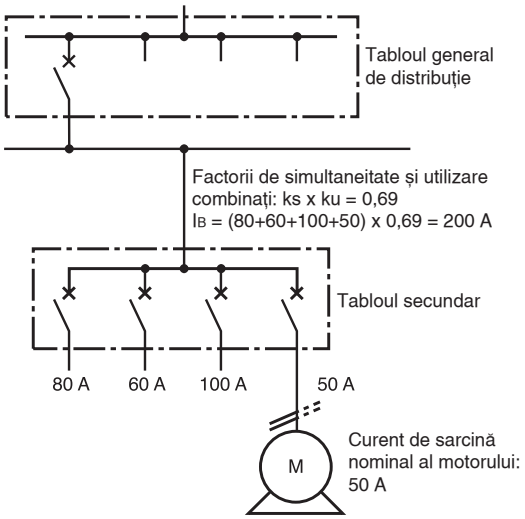



*Fig. G2: Calculul curentului maxim de sarcină $I_B$.*

**Curentul maxim admisibil: $I_z$**

Reprezintă valoarea maximă a curentului pe care cablajul circuitului o poate suporta un timp nedefinit fără a i se reduce durata normală de viaţă.

Pentru o secţiune dată a conductorului, valoarea curentului maxim admisibil depinde de anumiţi parametrii:

■ modul constructiv al cablului şi conductoarelor (conductor din Cu sau Al, izolaţie din PVC sau EPR etc., număr de conductoare active);
■ temperatura ambiantă;
■ metoda de instalare;
■ influenţa circuitelor învecinate.

## Supracurenţii

Se spune că se produce “supracurent” atunci când curentul depăşeşte valoarea maximă a curentului de sarcină $I_B$ aferent sarcinii respective.

Pentru evitarea deteriorării ireversibile a cablului (sau a receptorului, în cazul în care supracurentul se datorează unui defect al acestuia), acest curent trebuie întrerupt într-un timp care depinde de valoarea sa.

Supracurenţi de durată relativ scurtă pot apărea, totuşi, în funcţionarea normală; se pot distinge două tipuri de supracurenţi:

■ Suprasarcini

Aceşti curenţi pot apărea în condiţii normale de funcţionare datorită unui număr de sarcini care funcţionează ocazional, simultan sau pornirilor de motoare, etc. Dacă oricare din aceste condiţii persistă mai mult decât o perioadă de timp dată (care depinde de reglajul releului de protecţie sau de calibrul fuzibilului), circuitul va fi, în mod automat întrerupt.

■ Curenţii de scurtcircuit

Aceşti curenţi se produc datorită deteriorării izolaţiei dintre conductoarele active şi/sau dintre conductoarele active şi pământ (în cazul sistemelor de legare la pământ prin impedanţe mici), în următoarele variante:

☐ curent de scurtcircuit trifazat (implicând sau nu conductorul de neutru şi/sau conductorul de protecţie),
☐ bifazat (implicând sau nu conductorul de neutru şi/sau conductorul de protecţie),
☐ monofazat cu conductorul de neutru (şi/sau cu conductorul de protecţie).

## 1.2 Principiile protecţiei la supracurent

Dispozitivul de protecţie este amplasat la începutul circuitului de protejat (vezi **Fig. G3** și **Fig. G4**).

- Acesta acţionează în sensul întreruperii supracurentului într-un timp mai scurt decât cel dat de caracteristica $I^2t$ a circuitului;
- Permite curentului maxim de sarcina $I_B$ să circule un timp nedefinit.

Caracteristicile $I^2t$ ale conductoarelor izolate atunci când prin acestea circulă un curent de scurtcircuit pentru o perioadă de până la 5 secunde, pot fi determinate, aproximativ, cu formula:

$I^2t = k^2 S^2$ care indică faptul că, în acest caz, căldura generată este proporţională cu pătratul secţiunii conductorului,

unde:

t: durata curentului de scurtcircuit (în secunde)
S: secţiunea conductorului izolat ($mm^2$)
I: valoare eficace a curentului de scurtcircuit ($A_{ef}$)
k: constantă aferentă conductorului izolat (valorile $k^2$ sunt date în **Fig. G52**).

Pentru un conductor izolat dat curentul maxim admis variază în funcţie de caracteristicile mediu. De exemplu, în cazul unei temperaturi ridicate ($\theta_{a1} > \theta_{a2}$), $I_{z1}$ este mai mic decât $I_{z2}$ (vezi **Fig. G5**). $\theta$ reprezintă temperatura mediului.

**Note:**

- $I_{sc}$ reprezintă curentul de scurtcircuit trifazat;
- $I_{SCB}$ reprezintă curentul nominal de rupere a întreruptorului automat;
- $I_r$ ( sau $I_{rth}$ )$^{(1)}$ reprezintă nivelul de reglaj al curentului; exemplu: un întreruptor automat de 50 A poate avea pragul de declanșare a protecției reglat la un nivel similar cu cel al unui întreruptor automat de 30 A (vezi **Fig. G6**).

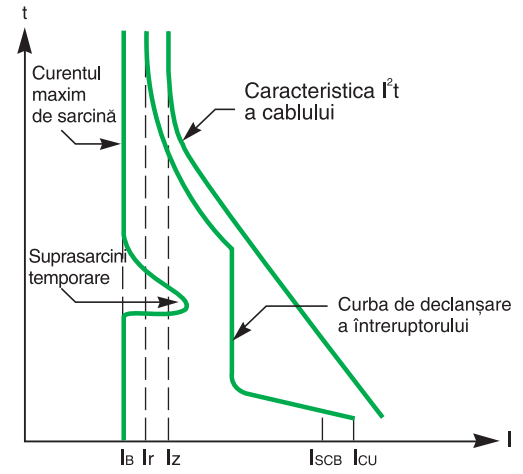



*Fig. G3: Protecția circuitului cu ajutorul întreruptorului automat.*

## 1.3 Valori practice pentru o schemă de protecţie

Metodele următoare se bazează pe reguli stabilite prin standarde CEI și sunt puse în practică în multe țări.

### Reguli generale

Un dispozitiv de protecţie (întreruptor automat sau fuzibil) funcţionează corect dacă:

- curentul său nominal $I_n$ sau curentul reglat $I_r$ este mai mare decât curentul maxim de sarcină $I_B$, dar mai mic decât curentul maxim admis $I_z$ al cablului, adică: $I_B < I_n < I_z$ corespunzător zonei “a“ din **Fig. G6**;
- valoarea curentului de declanșare la suprasarcină $I_2$, reglat în mod “convenţional“ este mai mică decât 1,45 $I_z$ ceea ce corespunde zonei “b“ din **Fig. G6**.

Durata de declanșare “convenţională“ poate fi reglată între o oră și 2 ore în funcţie de standardele locale și de valoarea aleasă pentru $I_2$. În cazul fuzibilelor, $I_2$ este curentul (notat $I_f$) la care fuzibilul funcţionează în timpul convenţional;

- curentul nominal de scurtcircuit al întreruptorului automat este mai mare decât curentul de scurtcircuit trifazat al circuitului în punctul respectiv al instalaţiei. Aceasta corespunde zonei “c“ din **Fig. G6**.

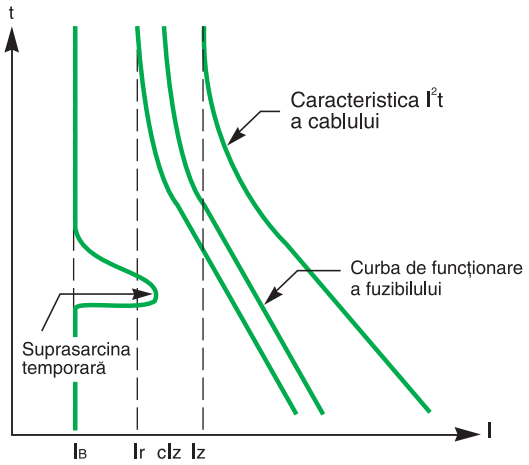



*Fig. G4: Protecția circuitului cu ajutorul fuzibilului.*

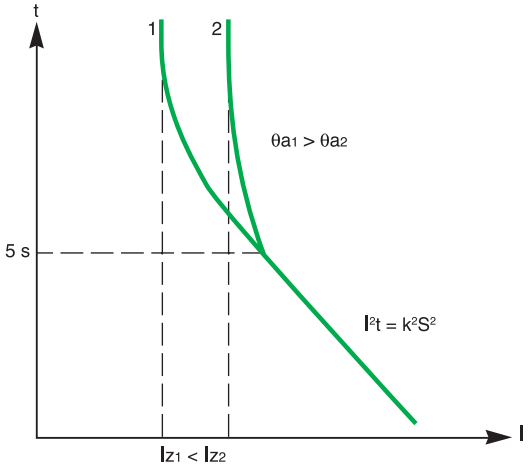



*Fig. G5: Caracteristica $I^2t$ a conductorului izolat în funcție de două nivele diferite de temperatură.*

*(1) Ambele denumiri sunt utilizate frecvent în diferite standarde.*

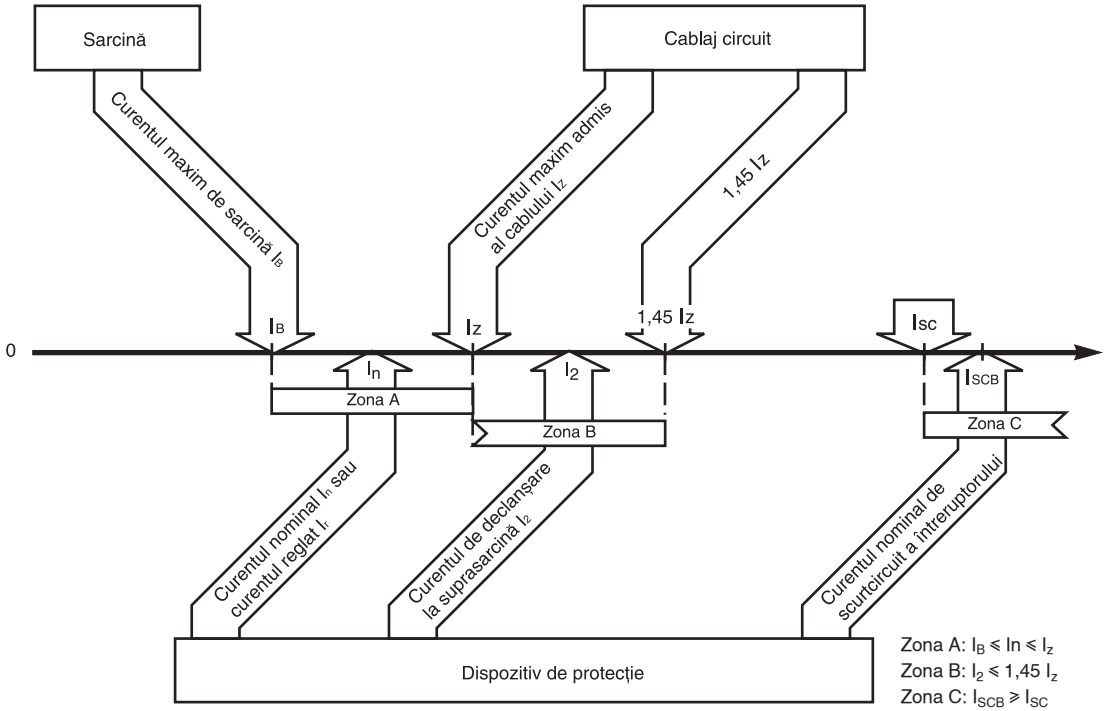



***Fig. G6:*** *Nivelele de curent pentru determinarea caracteristicilor întreruptorului sau fuzibilului.*



*Criterii pentru întreruptoare automate:*
*$I_B \leqslant I_n \leqslant I_z$ și $I_{SCB} \geqslant I_{SC}$.*

*Criteriile pentru fuzibile:*
*$I_B \leqslant I_n \leqslant I_z/k_3$ și $I_{SCB} \geqslant I_{SC}$.*

## Aplicații

■ Protecția prin întreruptor automat:
În virtutea nivelului său ridicat de precizie, curentul $I_2$ este totdeauna mai mic decât 1,45 $I_n$ (sau 1,45 $I_r$), astfel încât, condiția $I_2 \leqslant 1,45\ I_z$ (așa cum s-a menționat în capitolul “Reguli generale”) va fi întotdeauna respectată.

■ Caz particular:
Dacă întreruptorul nu protejează la suprasarcină, este necesar să ne asigurăm că, în cazul valorii minime a curentului de scurtcircuit, protecția la supracurent va funcționa corect. Acest caz particular este analizat în subcapitolul 5.1.

■ Protecția prin fuzibil:
Condiția $I_2 \leqslant 1,45\ I_z$ trebuie, de asemenea, luată în considerare. $I_2$ reprezintă curentul de funcționare (la care fuzibilul se topește) și este egal cu $k_2$ x $I_n$ ($k_2$ având valori între 1,6 și 1,9 ) în conformitate cu tipul de fuzibil respectiv.
Un alt factor, $k_3$, a fost introdus ($k_3 = k_2/1,45$) astfel încat, condiția $I_2 \leqslant 1,45\ I_z$ este valabilă doar dacă $I_n \leqslant I_z/k_3$.
Pentru fuzibilele tip gG:
$I_n < 16$ A → $k_3 = 1,31$
$I_n \geqslant 16$ A → $k_3 = 1,10$
Mai mult, capacitatea de rupere a fuzibilului $I_{SCF}$ trebuie să fie mai mare decât curentul de scurtcircuit trifazat al circuitului calculat în punctul de amplasare al fuzibilului.

■ Asocierea diferitelor dispozitive de protecție:
Utilizarea unor dispozitive de protecție având capacități de rupere mai mici decât nivelul curentului de scurtcircuit calculat în punctele de amplasare este permisă de CEI și de anumite standarde naționale în următoarele condiții:
☐ în amonte este amplasat un alt dispozitiv de protecție care are puterea de rupere necesară, și
☐ cantitatea de energie ce poate să treacă prin dispozitivul din amonte este inferioară valorii pe care dispozitivul de protecție din aval, împreună cu întreg cablajul o pot suporta fără a se deteriora.

În practică acest lucru este admis:
☐ în cazul asocierii întreruptor automat/fuzibil,
☐ în tehnica numită "filiație" în care capacitatea de limitare foarte mare a anumitor tipuri de întreruptoare automate reduce în mare măsură valoarea curentului de scurtcircuit din aval.
Combinațiile posibile care au fost testate în laborator sunt indicate în documentația tehnică a producătorilor de astfel de dispozitive.

## 1.4 Amplasarea dispozitivelor de protecție

*Dispozitivul de protecție este amplasat, în general, la începutul (originea) fiecărui circuit.*

### Reguli generale (vezi Fig. G7a)

Dispozitivul de protecție este amplasat la începutul fiecărui circuit, și acolo unde apare o reducere a curentului maxim admis în calea de curent.

### Alternative posibile pentru alte amplasări în anumite circumstante (vezi Fig. G7b)

Dispozitivul de protecție poate fi amplasat de-a lungul circuitului:
■ dacă porțiunea AB a circuitului nu se găsește în vecinătatea unui material combustibil, sau
■ dacă de-a lungul acestei porțiuni nu sunt conectate circuite de prize sau alte elemente de derivație.
Trei cazuri pot fi întâlnite în practică:
■ Considerând cazul (1) în diagramă:
☐ AB ⩽ 3 m, și
☐ porțiunea AB a fost protejată pentru a reduce practic, la minimum, riscul unui scurtcircuit (conductor amplasat în țevi de oțel, de exemplu);
■ Considerând cazul (2):
☐ dispozitivul din amonte $P_1$ protejează porțiunea AB de conductor împotriva curentului de scurtcircuit în conformitate cu subcapitolul 5.1;
■ Considerând cazul (3):
☐ dispozitivul de protecție la suprasarcină (S), este amplasat adiacent sarcinii. Aceasta este și cazul circuitelor tip motor. Dispozitivul (S) constituie elementul de control (pornire/oprire) și de protecție la suprasarcină a motorului, în timp ce (SC) este sau întreruptor automat (special proiectat pentru protecția motoarelor) sau fuzibil tip aM.
☐ protecția la scurtcircuit (SC) amplasată în amonte de circuit este în conformitate cu principiile din subcapitolul 5.1.

### Circuite fără protecție (vezi Fig. G7c)

Fie:
■ Dispozitivul de protecție $P_1$ este dimensionat pentru a proteja cablul $S_2$ împotriva suprasarcinii și scurtcircuitului.
Sau:
■ Acolo unde întreruperea circuitului constituie un risc, de exemplu:
☐ circuitul de excitație în cazul mașinilor rotative,
☐ circuite aferente electromagneților mari în aplicațiile de ridicare,
☐ circuitele secundare ale transformatoarelor de măsură de curent.
În aceste cazuri, întreruperea circuitelor nu poate fi admisă, deci protecția cablurilor devine de importanță secundară.

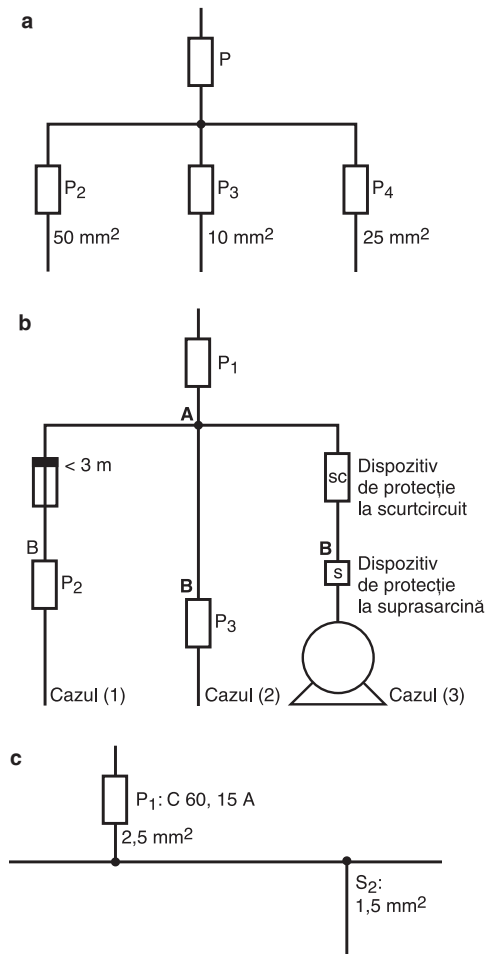



*Fig. G7: Amplasarea dispozitivelor de protecție.*

## 1.5 Conductoare în paralel

Conductoarele având aceeași secțiune, aceeași lungime și din același material pot fi conectate în paralel.
Curentul maxim admis este suma curenților maximi aferenți conductoarelor individuale, luându-se în considerare și efectele încălzirii reciproce, metoda de instalare, etc.
Protecția împotriva suprasarcinii și scurtcircuitului este identică cu aceea pentru un singur conductor de secțiune echivalentă.
În scopul evitării riscului de apariție a scurtcircuitului în cazul cablurilor conectate în paralel, trebuie luate următoarele măsuri:
■ protecție suplimentară împotriva deteriorării mecanice a cablurilor și împotriva umidității, prin utilizarea unei protecții suplimentare;
■ alegerea traseului cablului astfel încât să se evite vecinătatea cu materiale combustibile.

# 2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

## 2.1 Generalități

Standardul internațional, de referință pentru studierea cablării este CEI 60364-5-52: “Instalații electrice în clădiri - Partea 5-52: Alegerea și instalarea echipamentelor electrice - Sistemul de cablare”.
Standardul este prezentat aici, pe scurt, cu exemplificarea celor mai utilizate metode de instalare. Capacitatea de transport de curent a conductoarelor, în diferite cazuri, este dată în anexa A a standardului. Metoda simplificată pentru utilizarea tabelelor din anexa A este propusă în anexa informativă B a standardului.

## 2.2 Metoda generală pentru cabluri

### Metode posibile de instalare pentru diferite tipuri de conductoare sau cabluri

În **Tab. G8** sunt prezentate diferite metode de instalare admise în funcție de diferite tipuri de conductoare și cabluri.

| Conductoare și cabluri | | Metoda de instalare | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Montaj liber | Fixate cu bride | În tub de protecție | Pat de cabluri (inclusiv cele în tresă sau încastrate în pardoseală) | Canal de cablu | Pe suport vertical tip scară Pe console, suporți de cablu | Pe izolatoare | Pe cablu de susținere |
| Conductoare neizolate | | - | - | - | - | - | - | + | - |
| Conductoare izolate | | - | - | + | + | + | - | + | - |
| Cabluri cu manta (inclusiv cele armate și cu izolație minerală | Multifilar | + | + | + | + | + | + | 0 | + |
| | Unifilar | 0 | + | + | + | + | + | 0 | + |

+ Permis.
- Interzis.
0 Nerecomandat sau, în mod normal neutilizat în practică.

*Tab. G8: Alegerea sistemelor de cablare (Tabelul 52-1 din CEI 60364-5-52).*

# 2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

## Metode posibile de instalare in diferite cazuri:

În diferite cazuri pot fi utilizate metode de instalare adecvate. În **Tab. G9** sunt prezentate combinațiile posibile.
Numărul dat în acest tabel se referă la diferitele sisteme de cablare considerate (vezi, de asemenea **Tab. G10**).

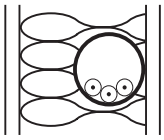
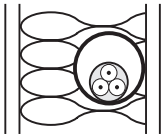
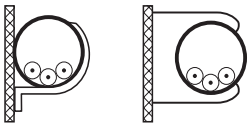
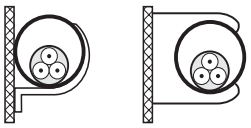
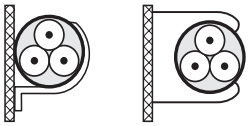
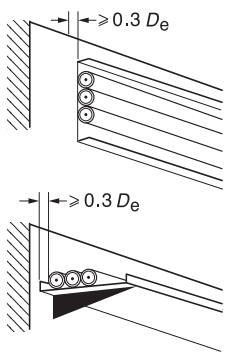
| Cazuri | Metoda de instalare | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Montaj liber | Fixate cu bride | În tub de protecție | Pat de cabluri (inclusiv cele în tresă sau încastrate în pardoseală) | Canal de cablu | Pe suport vertical tip scară Pe console, suporți de cablu | Pe izolatoare | Pe cablu de susținere |
| Goluri în clădiri | 40, 46, 15, 16 | 0 | 15, 16, 41, 42 | - | 43 | 30, 31, 32, 33, 34 | - | - |
| Canale de cabluri | 56 | 56 | 54, 55 | 0 | 44, 45 | 30, 31, 32, 33, 34 | - | - |
| Îngropate în pământ | 72, 73 | 0 | 70, 71 | - | | 70, 71 | 0 | - |
| Încastrate în elemente de construcție | 57, 58 | 3 | 1, 2, 59, 60 | 50, 51, 52, 53 | 44, 45 | 0 | - | - |
| Montate aparent | - | 20, 21 | 4, 5 | 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14 22, 23 | 6, 7, 8, 9 | 30, 31, 32, 33, 34 | 36 | - |
| Montate aerian | - | - | 0 | 10, 11 | - | 30, 31, 32 33, 34 | 36 | 35 |
| Imersate | 80 | 80 | 0 | - | 0 | 0 | - | - |

- Interzis.
0 Nerecomandat sau, în mod normal neutilizat în practică.

***Tab. G9:*** *Construirea sistemului de cablare (Tabelul 52-2 din CEI 60364-5-52).*

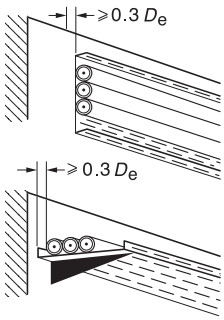
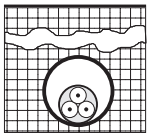
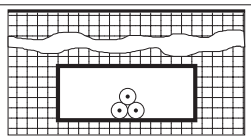
## Exemple de sisteme de cablare și metodele respective de instalare

În **Tab. G10** sunt prezentate câteva sisteme diferite de cablare și metodele respective de instalare.
Anumite metode de referință sunt definite (cu litere de cod de la A la G), incluzând metode de instalare având aceleași caracteristici relativ la capacitățile de transport de curent ale sistemului de cablare.

| Nr. criteriu | Metoda de instalare | Descriere | Metoda de referință utilizată pentru a obține capacitatea de transport de curent |
|---|---|---|---|
| 1 |  | Conductoare izolate sau cabluri unifilare în tub, în pereți izolați termic | A1 |
| 2 |  | Cabluri multifilare în tub în pereți izolați termic | A2 |
| 4 |  | Conductoare izolate sau cabluri unifilare în tub, pe pereți de lemn sau de zidărie sau distanțate de aceștia la mai puțin de 0,3 x diametrul tubului | B1 |
| 5 |  | Cabluri multifilare, în tub, pe pereți de lemn sau de zidărie sau distanțate de aceștia la mai puțin de 0,3 x diametrul tubului | B2 |
| 20 |  | Cabluri unifilare sau multifilare fixate pe un perete de lemn sau distanțate de acesta la mai puțin de 0,3 x diametrul cablului | C |
| 30 |  | Pe pat de cablu neperforat | C |

*Tab. G10: Exemple de metode de instalare (Parte din Tabelul 52-3 din CEI 60364-5-52) (continuare pe pagina următoare).*

# 2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

| Nr. criteriu | Metoda de instalare | Descriere | Metoda de referință utilizată pentru a obține capacitatea de transport de curent |
|---|---|---|---|
| 31 |  | Pe pat de cabluri perforat | E sau F |
| 36 | | Conductoare izolate sau neizolate pe izolatori | G |
| 70 |  | Cabluri multifilare în tub sau în canal de cablu îngropate în pământ | D |
| 71 |  | Cabluri unifilare în tub sau în canal de cablu îngropate în pământ | D |

*Tab. G10: Exemple de metode de instalare (Parte din Tabelul 52-3 din CEI 60364-5-52) (sfârșit).*



## Temperatura maximă de funcționare:

Capacitatea de transport de curent dată în tabelul următor a fost determinată astfel încât temperatura maximă a izolației să nu fie depășită pe o durată de timp care ar putea-o deteriora.
Pentru diferite tipuri de materiale de izolație, **Tab. G11** prezintă temperatura maximă admisibilă.

| Tipul de izolație | Temperatura limită |
|---|---|
| Izolație de PVC | 70° C la nivelul conductorului |
| Izolație cu XLPE (polietilenă reticulată) și EPR | 90° C la nivelul conductorului |
| Izolație minerală (acoperit cu PVC sau expus atingerii) | 70° C la nivelul mantalei |
| Izolație minerală (neexpus atingerii și fără riscul unui contact cu materiale combustibile) | 105° C la nivelul mantalei |

*Tab. G11: Temperaturile maxime de funcționare pentru diferite tipuri de izolații (Tabelul 52-4 din CEI 60364-5-52).*

## Factori de corecție:

Pentru a se lua în considerare anumiți factori de mediu sau diferite condiții speciale de instalare, au fost introduși factori de corecție.
Secțiunea cablurilor se determină pornind de la curentul nominal al sarcinii $I_B$, împărțit la diferiți coeficienți de corecție, $k_1$, $k_2$, ...

$$I'_B = \frac{I_B}{k_1 \cdot k_2 \ldots}$$

$I'_B$ este curentul de sarcină corectat, care se va compara cu capacitatea de transport de curent a cablului considerat.

# 2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

■ Temperatura ambiantă

Capacitățile de transport de curent ale cablurilor în aer se definesc la temperatura medie a aerului de 30° C. Pentru alte temperaturi, factorii de corecție sunt dați în **Tab. G12**, pentru izolație din PVC, EPR și XLPE.
Acest factor de corecție este notat $k_1$.

| Temperatura ambiantă °C | Tip de izolație | |
|---|---|---|
| | PVC | XLPE și EPR |
| 10 | 1,22 | 1,15 |
| 15 | 1,17 | 1,12 |
| 20 | 1,12 | 1,08 |
| 25 | 1,06 | 1,04 |
| 35 | 0,94 | 0,96 |
| 40 | 0,87 | 0,91 |
| 45 | 0,79 | 0,87 |
| 50 | 0,71 | 0,82 |
| 55 | 0,61 | 0,76 |
| 60 | 0,50 | 0,71 |
| 65 | - | 0,65 |
| 70 | - | 0,58 |
| 75 | - | 0,50 |
| 80 | - | 0,41 |

***Tab. G12:*** *Factori de corecție pentru temperaturi ale aerului altele decât 30° C și care pot fi aplicați capacităților de transport de curent în cazul cablurilor în aer (din Tabelul A 52-14 din CEI 60364-5-52 ).*



Capacitățile de transport de curent ale cablurilor în pământ se definesc considerând o temperatură medie a solului de 20° C. Pentru alte temperaturi, factorii de corecție sunt dați în **Tab. G13**, pentru izolație din PVC, EPR și XLPE.
Acest factor de corecție este notat $k_2$.

| Temperatura ambiantă °C | Tip de izolație | |
|---|---|---|
| | PVC | XLPE și EPR |
| 10 | 1,10 | 1,07 |
| 15 | 1,05 | 1,04 |
| 25 | 0,95 | 0,96 |
| 30 | 0,89 | 0,93 |
| 35 | 0,84 | 0,89 |
| 40 | 0,77 | 0,85 |
| 45 | 0,71 | 0,80 |
| 50 | 0,63 | 0,76 |
| 55 | 0,55 | 0,71 |
| 60 | 0,45 | 0,65 |
| 65 | - | 0,60 |
| 70 | - | 0,53 |
| 75 | - | 0,46 |
| 80 | - | 0,38 |

***Tab. G13:*** *Factori de corecție pentru temperaturi ale solului altele decât 20° C și care pot fi aplicați capacităților de transport de curent în cazul cablurilor în tuburi în pământ (din Tabelul A 52-15 din CEI 60364-5-52 ).*

# 2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

■ Rezistivitatea termică a solului
Capacitățile de transport de curent ale cablurilor îngropate se definesc considerând o rezistivitate a solului de 2,5 K.m/W. Pentru alte valori, factorii de corecție sunt dați în **Tab. G14**.
Acest factor de corecție este notat $k_3$.

| Rezistivitatea termică a solului K.m/W | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|
| Factor de corecție | 1,18 | 1,1 | 1,05 | 1 | 0,96 |

***Tab. G14:*** *Factori de corecție pentru cabluri îngropate, pentru rezistivități ale solului altele decât 2,5 K.m/W, care pot fi aplicați capacităților de transport de curent în cazul metodei de instalare de referință D (Tabelul A 52-16 din CEI 60364-5-52 ).*

Din experiență se știe faptul că există o relație între natura solului și rezistivitatea sa. Astfel, în **Tab. G15** sunt prezentate valori empirice pentru factorul $k_3$, în funcție de natura solului.

| **Natura solului** | **$k_3$** |
|---|---|
| Sol foarte ud (saturat) | 1,21 |
| Sol ud | 1,13 |
| Sol umed | 1,05 |
| Sol uscat | 1,00 |
| Sol foarte uscat | 0,86 |

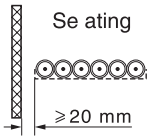
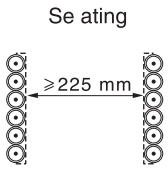
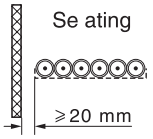
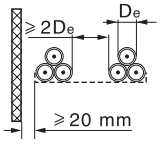
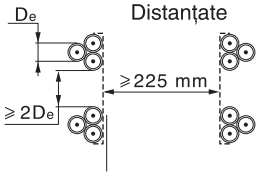
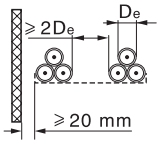
***Tab. G15:*** *Factori de corecție $k_3$ în funcție de natura solului.*

■ Gruparea conductoarelor și cablurilor
Capacitățile de transport de curent date în tabelul de mai jos se referă la un singur circuit alcătuit din următorul număr de conductoare active (încărcate):
☐ două conductoare izolate sau două cabluri unifilare sau un cablu cu două conductoare (care se utilizează pentru circuite monofazate),
☐ trei conductoare izolate sau trei cabluri unifilare sau un cablu cu trei conductoare (care se utilizează pentru circuite trifazate).
În cazul în care mai multe conductoare izolate sau cabluri sunt instalate alcătuind un grup, se va aplica un factor de reducere de grup (notat $k_4$).
**Tabelele G16** la **G18** dau câteva exemple pentru diferite configurații (metode de instalare în aer sau în pământ).
**Tabelul G16** dă valorile factorului de corecție $k_4$ pentru diferite configurații de cabluri sau conductoare neîngropate, grupând mai mult decât un circuit sau un cablu multiconductor.

| **Aranjament (cabluri care se ating)** | **Număr de circuite sau cabluri multifilare** | | | | | | | | | | | | **Metode de instalare de referință** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 12 | 16 | 20 | |
| Cabluri mănunchi, în aer, încastrate sau îngropate | 1,00 | 0,80 | 0,70 | 0,65 | 0,60 | 0,57 | 0,54 | 0,52 | 0,50 | 0,45 | 0,41 | 0,38 | Metoda A la F |
| Cabluri într-un strat pe perete, podea sau pe pat de cabluri neperforat | 1,00 | 0,85 | 0,79 | 0,75 | 0,73 | 0,72 | 0,72 | 0,71 | 0,70 | Pentru mai mult de 9 circuite sau cabluri multifilare nu există factor de reducere | | | Metoda C |
| Cabluri într-un strat fixate direct sub un plafon de lemn | 0,95 | 0,81 | 0,72 | 0,68 | 0,66 | 0,64 | 0,63 | 0,62 | 0,61 | | | | |
| Cabluri într-un strat amplasate pe pat de cabluri perforat orizontal sau vertical | 1,00 | 0,88 | 0,82 | 0,77 | 0,75 | 0,73 | 0,73 | 0,72 | 0,72 | | | | Metoda E și F |
| Cabluri într-un strat fixate pe suport tip scară, etc. | 1,00 | 0,87 | 0,82 | 0,80 | 0,80 | 0,79 | 0,79 | 0,78 | 0,78 | | | | |

***Tab. G16:*** *Factori de reducere pentru grupuri de mai mult decât un circuit sau cablu multifilar (Tabelul A.52-17 din CEI 60364-5-52).*

**Tabelul G17** prezintă valorile factorului de corectie $k_4$ pentru diferite configurații de cabluri și conductoare neîngropate, pentru grupuri mai mari de circuite, realizate din cabluri unifilare, în aer.

| Metoda de instalare | | | Număr de paturi de cabluri | Număr de circuite trifazate | | | Utilizarea unui multiplicator pentru |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1 | 2 | 3 | |
| Pat de cablu perforat | 31 |  | 1<br>2<br>3 | 0,98<br>0,96<br>0,95 | 0,91<br>0,87<br>0,85 | 0,87<br>0,81<br>0,78 | Trei cabluri pozate orizontal |
| Pat de cablu perforat vertical | 31 |  | 1<br>2 | 0,96<br>0,95 | 0,86<br>0,84 | | Trei cabluri pozate vertical |
| Suport tip scară, etc... | 32<br>33<br>34 |  | 1<br>2<br>3 | 1,00<br>0,98<br>0,97 | 0,97<br>0,93<br>0,90 | 0,96<br>0,89<br>0,86 | Trei cabluri pozate orizontal |
| Pat de cablu perforat | 31 |  | 1<br>2<br>3 | 1,00<br>0,97<br>0,96 | 0,98<br>0,93<br>0,92 | 0,96<br>0,89<br>0,86 | Trei cabluri pozate în treflă |
| Pat de cablu perforat vertical | 31 |  | 1<br>2 | 1,00<br>1,00 | 0,91<br>0,90 | 0,89<br>0,86 | |
| Suport tip scară, etc... | 32<br>33<br>34 |  | 1<br>2<br>3 | 1,00<br>0,97<br>0,96 | 1,00<br>0,95<br>0,94 | 1,00<br>0,93<br>0,90 | |

*Tab. G17: Factori de reducere pentru grupuri mai mari de circuite cu cabluri unifilare de aplicat valorilor nominale, în aer - Metoda de instalare de referință F (Tabelul A 52-21 din CEI 60364 -5 -52 ).*

# 2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

**Tabelul G18** prezintă valorile factorului de corecție $k_4$ pentru diferite configurații de cabluri sau conductoare instalate direct în pământ.

| Număr de circuite | Distanța liberă dintre cabluri (*a*)[a] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Cabluri care se ating | Diametrul unui cablu | 0,125 m | 0,25 m | 0,5 m |
| 2 | 0,75 | 0,80 | 0,85 | 0,90 | 0,90 |
| 3 | 0,65 | 0,70 | 0,75 | 0,80 | 0,85 |
| 4 | 0,60 | 0,60 | 0,70 | 0,75 | 0,80 |
| 5 | 0,55 | 0,55 | 0,65 | 0,70 | 0,80 |
| 6 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,70 | 0,80 |

(a) Cabluri multifilare

(a) Cabluri unifilare

*Tab. G18: Factori de reducere pentru mai mult de un circuit, pentru cabluri unifilare sau multifilare instalate direct în pământ - Metoda de instalare D (Tabelul 52-18 din CEI 60364-5-52).*



■ Curenții armonici

Capacitatea de transport de curent pentru cabluri trifazate, cu 4 sau 5 fire se bazează pe presupunerea că numai 3 conductoare sunt complet încărcate.
Totuși, în cazul în care există curenți armonici, curentul prin conductorul neutru poate avea o valoare semnificativă, chiar mai mare decât curenții de faza. Aceasta se datorează faptului că armonicile 3 de curent de pe cele trei faze nu se anulează fazorial ci, dimpotrivă, se însumează aritmetic pe conductorul neutru.
Aceasta afectează, evident, capacitatea de transport de curent a cablului, și prin urmare este necesar să se aplice un factor de corecție $k_5$.
Suplimentar, dacă procentul de armonică 3 ($h_3$) este mai mare de 33%, curentul prin conductorul neutru este mai mare decât cel prin conductoarele de fază; prin urmare, alegerea secțiunii cablului se bazează pe acesta. Efectul termic al curenților armonici prin conductoarele de fază trebuie, de asemenea, luat în calcul.
**Tabelul G19** prezintă valorile coeficientului $k_5$ în funcție de conținutul de curenți de armonică 3.

| Conținut de curent de armonică 3 al curentului de fază, % | Factor de corecție | |
|---|---|---|
| | Alegerea secțiunii se bazează pe curentul de fază | Alegerea secțiunii se bazează pe curentul din conductorul neutru |
| 0 - 15 | 1,0 | - |
| 15 - 33 | 0,86 | - |
| 33 - 45 | - | 0,86 |
| > 45 | - | 1,0 |

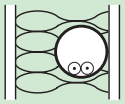
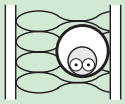
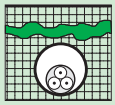
*Tab. G19: Factori de corecție pentru curenți armonici în cabluri cu 4 și 5 fire (Tabelul D 52-1 din CEI 60364-5-52).*

## Curentul admisibil în funcție de secțiunea nominală a conductoarelor

Standardul CEI 60364-5-52 prezintă informații extinse, sub formă de tabele referitoare la curenții admisibili în funcție de secțiunea cablurilor. Sunt luați în considerare mai mulți parametri, precum metoda de instalare, tipul izolației, tipul materialului conductor, numărul de conductoare încărcate.

# 2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

Ca un exemplu, **Tab. G20** prezintă capacitățile de transport de curent pentru diferite metode de instalare a cablurilor cu izolație din PVC, din aluminiu sau cupru, trei conductoare încărcate, în aer sau în pământ.

| Secțiunea nominală a conductoarelor (mm²) | Metoda de instalare | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | A1  | A2  | B1 | B2 | C | D  |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| **Cupru** | | | | | | |
| 1,5 | 13,5 | 13 | 15,5 | 15 | 17,5 | 18 |
| 2,5 | 18 | 17,5 | 21 | 20 | 24 | 24 |
| 4 | 24 | 23 | 28 | 27 | 32 | 31 |
| 6 | 31 | 29 | 36 | 34 | 41 | 39 |
| 10 | 42 | 39 | 50 | 46 | 57 | 52 |
| 16 | 56 | 52 | 68 | 62 | 76 | 67 |
| 25 | 73 | 68 | 89 | 80 | 96 | 86 |
| 35 | 89 | 83 | 110 | 99 | 119 | 103 |
| 50 | 108 | 99 | 134 | 118 | 144 | 122 |
| 70 | 136 | 125 | 171 | 149 | 184 | 151 |
| 95 | 164 | 150 | 207 | 179 | 223 | 179 |
| 120 | 188 | 172 | 239 | 206 | 259 | 203 |
| 150 | 216 | 196 | - | - | 299 | 230 |
| 185 | 245 | 223 | - | - | 341 | 258 |
| 240 | 286 | 261 | - | - | 403 | 297 |
| 300 | 328 | 298 | - | - | 464 | 336 |
| **Aluminiu** | | | | | | |
| 2,5 | 14 | 13,5 | 16,5 | 15,5 | 18,5 | 18.5 |
| 4 | 18,5 | 17,5 | 22 | 21 | 25 | 24 |
| 6 | 24 | 23 | 28 | 27 | 32 | 30 |
| 10 | 32 | 31 | 39 | 36 | 44 | 40 |
| 16 | 43 | 41 | 53 | 48 | 59 | 52 |
| 25 | 57 | 53 | 70 | 62 | 73 | 66 |
| 35 | 70 | 65 | 86 | 77 | 90 | 80 |
| 50 | 84 | 78 | 104 | 92 | 110 | 94 |
| 70 | 107 | 98 | 133 | 116 | 140 | 117 |
| 95 | 129 | 118 | 161 | 139 | 170 | 138 |
| 120 | 149 | 135 | 186 | 160 | 197 | 157 |
| 150 | 170 | 155 | - | - | 227 | 178 |
| 185 | 194 | 176 | - | - | 259 | 200 |
| 240 | 227 | 207 | - | - | 305 | 230 |
| 300 | 261 | 237 | - | - | 351 | 260 |

***Tab. G20:*** *Capacitățile de transport de curent, în Amperi, pentru diferite metode de instalare pentru conductoare cu izolație din PVC, trifazate, din cupru sau aluminiu, temperatura conductorului: 70° C, temperatura ambiantă: 30° C în aer, 20° C în pământ (Tabelul A.52-4 din CEI 60364-5-52).*

# 2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

## 2.3 Metoda simplificată recomandată pentru cabluri

Pentru o alegerea mai ușoară a secțiunilor de cablu, s-au propus două tabele simplificate, pentru cabluri îngropate și neîngropate.
Aceste tabele cuprind cele mai uzuale configurații și permit accesul cel mai ușor la informații.

### Cabluri neîngropate:

| Metodă de instalare de referință | Număr de conductoare încărcate și tipul de izolație | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | | 2 PVC | 3 PVC | | 3 XLPE | 2 XLPE | | | | | | |
| A2 | 3 PVC | 2 PVC | | 3 XLPE | 2 XLPE | | | | | | | |
| B1 | | | | 3 PVC | 2 PVC | | 3 XLPE | | 2 XLPE | | | |
| B2 | | | 3 PVC | 2 PVC | | 3 XLPE | 2 XLPE | | | | | |
| C | | | | | 3 PVC | | 2 PVC | 3 XLPE | | 2 XLPE | | |
| E | | | | | | 3 PVC | | 2 PVC | 3 XLPE | | 2 XLPE | |
| F | | | | | | | 3 PVC | | 2 PVC | 3 XLPE | | 2XLPE |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** |
| **Secțiunea ($mm^2$) Cupru** | | | | | | | | | | | | |
| 1,5 | 13 | 13,5 | 14,5 | 15,5 | 17 | 18,5 | 13,5 | 22 | 23 | 24 | 26 | - |
| 2,5 | 17,5 | 18 | 19,5 | 21 | 23 | 25 | 27 | 30 | 31 | 33 | 36 | - |
| 4 | 23 | 24 | 26 | 28 | 31 | 34 | 36 | 40 | 42 | 45 | 49 | - |
| 6 | 29 | 31 | 34 | 36 | 40 | 43 | 46 | 51 | 54 | 58 | 63 | - |
| 10 | 39 | 42 | 46 | 50 | 54 | 60 | 63 | 70 | 75 | 80 | 86 | - |
| 16 | 52 | 56 | 61 | 68 | 73 | 80 | 85 | 94 | 100 | 107 | 115 | - |
| 25 | 68 | 73 | 80 | 89 | 95 | 101 | 110 | 119 | 127 | 135 | 149 | 161 |
| 35 | - | - | - | 110 | 117 | 126 | 137 | 147 | 158 | 169 | 185 | 200 |
| 50 | - | - | - | 134 | 141 | 153 | 167 | 179 | 192 | 207 | 225 | 242 |
| 70 | - | - | - | 171 | 179 | 196 | 213 | 229 | 246 | 268 | 289 | 310 |
| 95 | - | - | - | 207 | 216 | 238 | 258 | 278 | 298 | 328 | 352 | 377 |
| 120 | - | - | - | 239 | 249 | 276 | 299 | 322 | 346 | 382 | 410 | 437 |
| 150 | - | - | - | - | 285 | 318 | 344 | 371 | 395 | 441 | 473 | 504 |
| 185 | - | - | - | - | 324 | 362 | 392 | 424 | 450 | 506 | 542 | 575 |
| 240 | - | - | - | - | 380 | 424 | 461 | 500 | 538 | 599 | 641 | 679 |
| **Aluminiu** | | | | | | | | | | | | |
| 2,5 | 13,5 | 14 | 15 | 16,5 | 18,5 | 19,5 | 21 | 23 | 24 | 26 | 28 | - |
| 4 | 17,5 | 18,5 | 20 | 22 | 25 | 26 | 28 | 31 | 32 | 35 | 38 | - |
| 6 | 23 | 24 | 26 | 28 | 32 | 33 | 36 | 39 | 42 | 45 | 49 | - |
| 10 | 31 | 32 | 36 | 39 | 44 | 46 | 49 | 54 | 58 | 62 | 67 | - |
| 16 | 41 | 43 | 48 | 53 | 58 | 61 | 66 | 73 | 77 | 84 | 91 | - |
| 25 | 53 | 57 | 63 | 70 | 73 | 78 | 83 | 90 | 97 | 101 | 108 | 121 |
| 35 | - | - | - | 86 | 90 | 96 | 103 | 112 | 120 | 126 | 135 | 150 |
| 50 | - | - | - | 104 | 110 | 117 | 125 | 136 | 146 | 154 | 164 | 184 |
| 70 | - | - | - | 133 | 140 | 150 | 160 | 174 | 187 | 198 | 211 | 237 |
| 95 | - | - | - | 161 | 170 | 183 | 195 | 211 | 227 | 241 | 257 | 289 |
| 120 | - | - | - | 186 | 197 | 212 | 226 | 245 | 263 | 280 | 300 | 337 |
| 150 | - | - | - | - | 226 | 245 | 261 | 283 | 304 | 324 | 346 | 389 |
| 185 | - | - | - | - | 256 | 280 | 298 | 323 | 347 | 371 | 397 | 447 |
| 240 | - | - | - | - | 300 | 330 | 352 | 382 | 409 | 439 | 470 | 530 |

***Tab. G21a:*** *Capacitatea de transport de curent, în Amperi (Tabelul B.52-1 din CEI 60364-5-52).*

Factorii de corecție sunt prezentați în **Tab. G21b** pentru grupuri de câteva circuite sau cabluri multifilare:

| Aranjament | Număr de circuite sau cabluri multifilare | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 9 | 12 | 16 | 20 |
| Îngropate sau în protejate | 1,00 | 0,80 | 0,70 | 0,70 | 0,55 | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,40 |
| Cabluri într-un strat pe perete, podea sau pe pat de cabluri neperforat | 1,00 | 0,85 | 0,80 | 0,75 | 0,70 | 0,70 | - | - | - |
| Cabluri într-un strat fixate direct sub un plafon | 0,95 | 0,80 | 0,70 | 0,70 | 0,65 | 0,60 | - | - | - |
| Cabluri într-un strat amplasate pe pat de cabluri perforat orizontal/vertical | 1,00 | 0,90 | 0,80 | 0,75 | 0,75 | 0,70 | - | - | - |
| Cabluri într-un strat fixate pe suport tip scară, etc. | 1,00 | 0,85 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | - | - | - |

***Tab. G21b:*** *Factori de reducere pentru grupuri de circuite sau cabluri multifilare (Tabelul B.52-3 din CEI 60364-5-52).*

## Cabluri îngropate:

| Metodă de instalare de referință | Secțiune mm² | Număr de conductoare încărcate și tipul de izolație | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Două PVC | Trei PVC | Două XLPE | Trei XLPE |
| D | **Cupru** | | | | |
| | 1,5 | 22 | 18 | 26 | 22 |
| | 2,5 | 29 | 24 | 34 | 29 |
| | 4 | 38 | 31 | 44 | 37 |
| | 6 | 47 | 39 | 56 | 46 |
| | 10 | 63 | 52 | 73 | 61 |
| | 16 | 81 | 67 | 95 | 79 |
| | 25 | 104 | 86 | 121 | 101 |
| | 35 | 125 | 103 | 146 | 122 |
| | 50 | 148 | 122 | 173 | 144 |
| | 70 | 183 | 151 | 213 | 178 |
| | 95 | 216 | 179 | 252 | 211 |
| | 120 | 246 | 203 | 287 | 240 |
| | 150 | 278 | 230 | 324 | 271 |
| | 185 | 312 | 258 | 363 | 304 |
| | 240 | 361 | 297 | 419 | 351 |
| | 300 | 408 | 336 | 474 | 396 |
| D | **Aluminiu** | | | | |
| | 2,5 | 22 | 18,5 | 26 | 22 |
| | 4 | 29 | 24 | 34 | 29 |
| | 6 | 36 | 30 | 42 | 36 |
| | 10 | 48 | 40 | 56 | 47 |
| | 16 | 62 | 52 | 73 | 61 |
| | 25 | 80 | 66 | 93 | 78 |
| | 35 | 96 | 80 | 112 | 94 |
| | 50 | 113 | 94 | 132 | 112 |
| | 70 | 140 | 117 | 163 | 138 |
| | 95 | 166 | 138 | 193 | 164 |
| | 120 | 189 | 157 | 220 | 186 |
| | 150 | 213 | 178 | 249 | 210 |
| | 185 | 240 | 200 | 279 | 236 |
| | 240 | 277 | 230 | 322 | 272 |
| | 300 | 313 | 260 | 364 | 308 |

***Tab. G22:*** *Capacitatea de transport de curent, în Amperi (Tabelul B.52-1 din CEI 60364-5-52).*

# 2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

## 2.4 Sisteme de bare capsulate

Alegerea sistemelor de bare capsulate poate fi realizată utilizând datele furnizate de producător. Metodele de instalare, tipul de izolație, factorii de corecție în caz de grupare nu sunt parametri relevanți în acest caz.
Secțiunea oricărui tip de bară capsulată este determinată de producătorul acesteia în funcție de:
- curentul nominal;
- temperatura ambiantă considerată a fi 35° C;
- 3 conductoare încărcate.

### Curentul nominal

Curentul nominal poate fi calculat în funcție de:
- locul de amplasare;
- curentul absorbit de diferitele sarcini conectate în lungul sistemului de bare.

### Temperatura ambiantă

Pentru temperaturi superioare lui 35° C trebuie aplicat un factor de corecție. Valorile factorului de corecție aplicat în cazul sistemelor de putere medie și mare (până la 4000 A) sunt date în **Tab. G23a**.

| °C | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 |
|---|---|---|---|---|---|
| Factor de corecție | 1 | 0,97 | 0,93 | 0,90 | 0,86 |

*Tab. G23a: Factorul de corecție pentru temperaturi ambiante mai mari de 35° C.*

### Curentul prin bara de neutru

În cazul în care există curenți de armonică 3, prin bara de neutru poate circula un curent semnificativ; prin urmare, trebuie luate în considerare pierderi suplimentare de putere.
**Figura G23b** prezintă curenții maximi admisibili prin barele de fază și neutru (pe unitate), într-un sistem de bare capsulate, în funcție de nivelul armonicii 3 de curent.

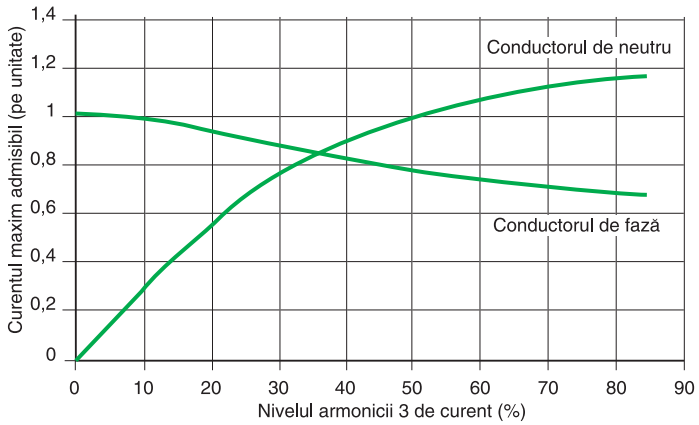



*Fig. G23b: Curenții maximi admisibili (pe unitate) într-un sistem de bare capsulate în funcție de nivelul armonicii 3 de curent.*

# 2 Metoda practică pentru determinarea secțiunii minime admisibile a conductoarelor

Modul de amplasare al sistemului de bare capsulate depinde de poziția consumatorilor, locul de amplasare al sursei de alimentare și de posibilitățile de fixare.

- un singur tronson de bară poate deservi o zonă de 4 la 6 metri;
- dispozitivele de protecție pentru cablurile de alimentare ale consumatorilor sunt amplasate în cofrete de derivație conectate direct pe sistemul de bare;
- o singură linie de alimentare alimentează toți consumatorii de pe sistemul de bare, indiferent de puterea acestora.

Odată ce sistemul de bare a fost stabilit, este posibil să se calculeze curentul absorbit $I_n$ pe linia de distributie.

$I_n$ este egal cu suma curenților absorbiți $I_B$ de către fiecare consumator: $I_n = \Sigma I_B$.

Consumatorii nu vor funcționa toți, în același timp și, de asemenea, nu funcționează permanent la putere maximă, astfel încât se va utiliza coeficientul de cerere simultană, $k_S$: $I_n = \Sigma (I_B . k_S)$.

| Aplicație | Număr de consumatori de curent | Coeficientul $K_s$ |
|---|---|---|
| Iluminat, încălzire | | 1 |
| Distribuție (ateliere) | 2 la 3 | 0,9 |
| | 4 la 5 | 0,8 |
| | 6 la 9 | 0,7 |
| | 10 la 40 | 0,6 |
| | ⩾ 40 | 0,5 |

***Notă:*** *În cazul instalațiilor industriale se va ține cont de posibilitățile de evoluție a echipamentelor de bază. Ca și în cazul tablourilor electrice, este necesară păstrarea unei rezerve de cca. 20 %:* $I_n \leqslant I_B \times k_s \times 1,2$.

***Tab. G24:*** *Coeficientul de cerere simultană în funcție de numărul de consumatori de curent.*

# 3 Determinarea căderii de tensiunii

Impedanța circuitelor este scăzută dar nu neglijabilă: atunci când transportă curentul de sarcină există o cădere de tensiune între originea circuitului și sarcină. Funcționarea corectă a fiecărei sarcini (motor, circuit de iluminat, etc.) depinde de tensiunea aplicată, aceasta fiind menținută la o valoare stabilă, apropiată de valoarea nominală. Este necesar, deci, să dimensionăm conductoarelor circuitelor astfel încât, la curentul nominal, tensiunea la bornele sarcinii să fie menținută în limitele cerute de aceasta, pentru a obține performanțele nominale.
Acest subcapitol se referă la metodele de determinare a căderii de tensiune pentru a se verifica faptul că aceasta:
- corespunde standardelor și normelor în vigoare;
- poate fi acceptabilă pentru sarcină;
- îndeplinește condițiile importante de funcționare.

## 3.1 Limita maximă a căderii de tensiune

Căderea de tensiune maximă admisibilă variază de la țară la țară. Valorile tipice pentru instalațiile de joasă tensiune sunt date în **Tab. G25**.

| Tipul de instalație | Iluminat | Alte aplicații (încălzire și de putere) |
|---|---|---|
| Alimentare de la rețeaua de distribuție publică | 3% | 5% |
| Post de transformare MT/JT alimentat de la rețeaua de medie tensiune publică | 6% (8%) | 8% (10%) |

*Tab. G25: Căderea maximă de tensiune dintre punctul de conexiune la rețeaua de alimentare și punctul de utilizare.*



**Notă:** Valorile dintre paranteze sunt cele prevăzute de norma română (NP-I7/2002). Aceste limite ale căderilor de tensiune se referă la condiții standard de funcționare și nu se aplică, de exemplu, pe perioada de pornire a motoarelor; conectarea simultană (din întâmplare) a mai multor sarcini, etc. așa cum s-a menționat în capitolul A, subcapitolul 4.3 (factorul de simultaneitate, etc.).
Atunci când căderea de tensiune depășește valorile indicate în **Tab. G25**, trebuie utilizate cabluri de secțiuni mai mari care conduc la satisfacerea condițiilor din normele aplicabile.
Atunci când este acceptabilă, valoarea de 8% poate conduce, în cazul sarcinii de tip motor, la anumite probleme în funcționare, de exemplu:
- în general, o funcționare la performanțe satisfăcătoare pentru un motor, impune o abatere a tensiunii de ±5% din valoarea tensiunii nominale;
- curentul de pornire al unui motor poate fi de 5 - 7 ori curentul nominal, sau chiar mai mare. Dacă se obține o cădere de tensiune de 8% în condiții de curent nominal, atunci, pe durata pornirii, aceasta avea o valoare de 40% sau mai mult. În aceste condiții, motorul:
  - ☐ fie, nu va porni (datorită cuplului de pornire insuficient) având consecințe legate de supraîncălzire și eventual declanșarea protecției,
  - ☐ fie, va accelera foarte încet, astfel încât, curentul mare la pornire (care poate avea efecte nedorite asupra funcționării altor echipamente) va continua mult peste perioada normală de pornire a motorului;
- în final, o cădere de tensiune de 8% reprezintă o pierdere de putere ($E_2$/R Watts), ceea ce, pentru sarcinile continue înseamnă o pierdere importantă de energie. Din aceste motive este recomandat ca o cădere de tensiune de la 8% în condiții normale de funcționare să nu fie realizată în cazul circuitelor care sunt sensibile la tensiuni scăzute (vezi **Fig. G26**).

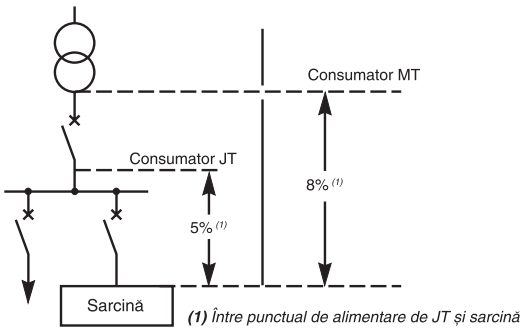



*Fig. G26: Căderea maximă de tensiune.*

## 3.2 Calculul căderii de tensiune în condiţii de funcţionare în regim permanent

### Formulele uzuale

**Tabelul G27** prezintă formulele uzuale pentru calculul căderii de tensiune pentru un circuit dat, pe kilometru de lungime.
Dacă:
- $I_B$: curentul nominal de sarcină, în amperi
- L: lungimea cablului, în kilometri
- R: rezistenţa cablului, în Ω/km

$$R = \frac{22{,}5\ \Omega\ mm^2/km}{S(secţ.\ în\ mm^2)}$$ pentru cupru

$$R = \frac{36\ \Omega\ mm^2/km}{S(secţ.\ în\ mm^2)}$$ pentru aluminiu

**Notă:** R este neglijabil pentru secţiuni mai mari de 500 mm².
- X: reactanţa inductivă a cablului (Ω/km)

**Notă:** X este neglijabil pentru secţiuni mai mici de 50 mm². În absenţa oricăror altor informaţii, X se va considera ca având valoarea de 0,08 (Ω/km).
- φ: unghiul de defazaj dintre tensiune şi curent în cazul circuitului considerat general:

☐ în cazul circuitelor de iluminat: cos φ = 1
☐ în cazul motoarelor :
- la pornire: cos φ = 0,35
- în funcţionare normală: cos φ = 0,8

- $U_n$: tensiunea de linie (dintre faze)
- $V_n$: tensiunea de fază (fază/neutru).

Pentru ghenele şi barele prefabricate, rezistenţele şi inductanţele sunt date de către producător.



| Circuit | Cădere de tensiune (ΔU) | |
|---|---|---|
| | în volţi | în % |
| Bifazat: fază/fază | $\Delta U = 2 I_B (R \cos\varphi + X \sin\varphi) L$ | $\frac{100\ \Delta U}{Un}$ |
| Monofazat: fază/neutru | $\Delta U = 2 I_B (R \cos\varphi + X \sin\varphi) L$ | $\frac{100\ \Delta U}{Vn}$ |
| Trifazat echilibrat: 3 faze (cu sau fără neutru) | $\Delta U = \sqrt{3}\, I_B (R \cos\varphi + X \sin\varphi) L$ | $\frac{100\ \Delta U}{Un}$ |

*Tab. G27: Formulele de calcul ale căderilor de tensiune.*

### Tabel de calcul simplificat

Calculele pot fi evitate prin utilizarea **Tab. G28** care prezintă, printr-o aproximare acceptabilă, căderile de tensiune, pe fază, pe km de cablu, pe amper, în funcţie de:
- tipurile de circuite utilizate: circuite tip motor având cos φ apropiat de 0,8 sau circuite de iluminat având cos φ apropiat de unitate;
- tipul de cablu: monofazat sau trifazat.

Căderea de tensiune pe un cablu este dată de relaţia:

K x $I_B$ x L

unde:
- K: este dat în tabel
- $I_B$: este curentul maxim de sarcină, în Amperi
- L: lungimea cablului, în km.

Coloana “Puterea motorului cos φ = 0,35” din **Tab. G28** poate fi utilizată pentru calcularea căderii de tensiune pe perioada de pornire a motorului (vezi ex. 1 după **Tabelul G28**).

# 3 Determinarea căderii de tensiunii

| Secțiunea în mm² | | Circuit monofazat | | | Circuit trifazat echilibrat | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Motor | | Iluminat | Motor | | Iluminat |
| | | Funcț. normală | La pornire | | Funcț. normală | La pornire | |
| Cu | Al | cos φ = 0,8 | cos φ = 0,35 | cos φ = 1 | cos φ = 0,8 | cos φ = 0,35 | cos φ = 1 |
| 1,5 | | 24 | 10,6 | 30 | 20 | 9,4 | 25 |
| 2,5 | | 14,4 | 6,4 | 18 | 12 | 5,7 | 15 |
| 4 | | 9,1 | 4,1 | 11,2 | 8 | 3,6 | 9,5 |
| 6 | 10 | 6,1 | 2,9 | 7,5 | 5,3 | 2,5 | 6,2 |
| 10 | 16 | 3,7 | 1,7 | 4,5 | 3,2 | 1,5 | 3,6 |
| 16 | 25 | 2,36 | 1,15 | 2,8 | 2,05 | 1 | 2,4 |
| 25 | 35 | 1,5 | 0,75 | 1,8 | 1,3 | 0,65 | 1,5 |
| 35 | 50 | 1,15 | 0,6 | 1,29 | 1 | 0,52 | 1,1 |
| 50 | 70 | 0,86 | 0,47 | 0,95 | 0,75 | 0,41 | 0,77 |
| 70 | 120 | 0,64 | 0,37 | 0,64 | 0,56 | 0,32 | 0,55 |
| 95 | 150 | 0,48 | 0,30 | 0,47 | 0,42 | 0,26 | 0,4 |
| 120 | 185 | 0,39 | 0,26 | 0,37 | 0,34 | 0,23 | 0,31 |
| 150 | 240 | 0,33 | 0,24 | 0,30 | 0,29 | 0,21 | 0,27 |
| 185 | 300 | 0,29 | 0,22 | 0,24 | 0,25 | 0,19 | 0,2 |
| 240 | 400 | 0,24 | 0,2 | 0,19 | 0,21 | 0,17 | 0,16 |
| 300 | 500 | 0,21 | 0,19 | 0,15 | 0,18 | 0,16 | 0,13 |

*Tab. G28: Căderea de tensiune pe fază, ΔU în Volți pe Amper pe km.*



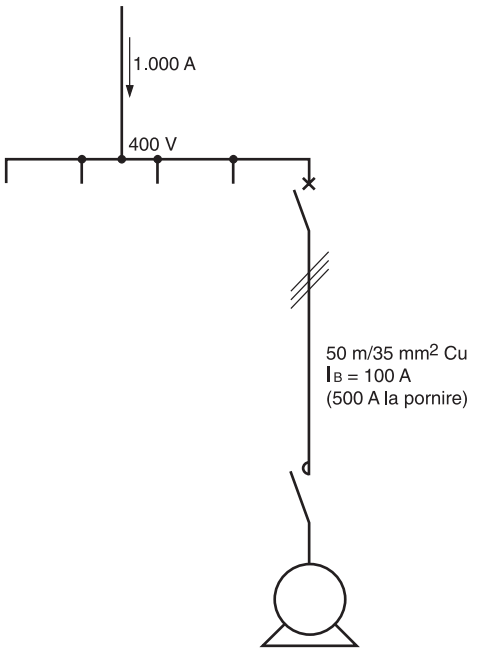



*Fig. G29: Exemplul 1.*

## Exemple

**Exemplul 1** (vezi **Fig. G29**)
Un cablu trifazat de cupru de lungime 50 m și secțiune 35 mm² alimentează un motor de 400 V având:
- 100 A, la cos φ = 0,8 și încărcare normală;
- 500 A (5 $I_n$), la cos φ = 0,35 la pornire.

Căderea de tensiune în amonte de circuitul motorului, în condiții normale (tabloul din **Fig. G29** având 1000 A) are valoarea de 10 V între faze.
Care este căderea de tensiune pe circuitul motorului:
- în cazul funcționării normale?
- la pornire?

Soluție:
- căderea de tensiune în condiții normale de funcționare:

$$\Delta U\% = 100\frac{\Delta U}{Un}$$

**Tabelul G28** (de mai sus) indică 1 V/A/km adică:
ΔU pentru cablu = 1 x 100 x 0,05 = 5 V
$\Delta U_{total}$ = 10 + 5 = 15 V
Prin urmare:

$$\frac{15}{400} \text{ x } 100 = 3{,}75\%$$

Această valoare este mai mică decât cea admisibilă (8%), deci este satisfăcătoare.
- căderea de tensiune la pornirea motorului:

$\Delta U_{cablu}$ = 0,52 x 500 x 0,05 = 13 V

Datorită curentului superior de pornire necesar motorului, căderea de tensiune la nivelul tabloului de distribuție va depăși valoarea de 10 V.
Considerând valoarea totală a curentului în tablou, pe perioada de pornire a motorului de 900 + 500 = 1400 A, atunci căderea de tensiune la nivelul tabloului va crește aproximativ proporțional.

$$\frac{10 \text{ x } 1{,}400}{1{,}000} = 14 \text{ V}$$

ΔU tablou de distribuție = 14 V
ΔU cablu motor = 13 V
ΔU total = 13 + 14 = 27 V adică:

$$\frac{27}{400} \text{ x } 100 = 6{,}75\%$$

, o valoare care este satisfăcătoare pe durata pornirii motorului.

**Exemplul 2** (vezi **Fig. G30**)
Printr-un circuit trifazat cu 4 conductoare din cupru, de secțiune 70 mm$^2$ și lungime 50 m trece un curent de 150 A. Linia alimentează printre altele, trei circuite monofazate de iluminat, fiecare de secțiune 2,5 mm$^2$, 20 m lungime și parcurse de un curent de valoare 20 A.
Se consideră că rețeaua este echilibrată și că cele trei circuite de iluminat sunt conectate în același punct.
Care este căderea de tensiune pe circuitele de iluminat?
Soluție:

■ Căderea de tensiune pe circuitul trifazat cu 4 conductoare este:

$$\Delta U\% = 100\frac{\Delta U}{Un}$$

**Tabelul G28** indică 0,55 V/A/km

■ $U_{linie}$ = 0,55 x 150 x 0,05 = 4,125 V între faze,
ceea ce înseamnă: $\frac{4,125}{\sqrt{3}}$ = 2,38 V între fază și neutru.

■ Căderea de tensiune pe fiecare circuit monofazat de iluminat:
ΔU pentru un circuit monofazat = 18 x 20 x 0,02 = 7,2 V
Căderea de tensiune totală:
7,2 + 2,38 = 9,6 V

$$\frac{9,6\ V}{230\ V} \times 100 = 4,2\%$$

Această valoare a căderii de tensiune este satisfăcătoare fiind mai mică decât valoarea maximă admisibilă de 6%.

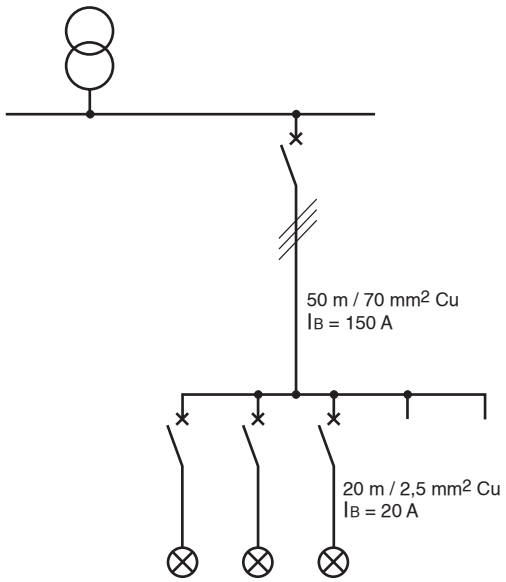



***Fig. G30:*** *Exemplul 2.*

# 4 Curentul de scurtcircuit

*Cunoașterea valorilor curentului de scurtcircuit trifazat simetric ($I_{sc}$) în diferite puncte ale instalației este o cerință foarte importantă a activității de proiectare.*

Cunoașterea valorilor curentului de scurtcircuit trifazat simetric ($I_{sc}$) în punctele strategice ale instalației este necesară pentru a dimensiona echipamentul de comutație (valorile curenților de defect), cablurile (verificarea stabilității termice), dispozitivele de protecție (setarea corectă a protecțiilor - selectivă) și așa mai departe...
În continuare, va fi analizat un scurtcircuit trifazat net (de impedanță zero) alimentat printr-un transformator de distribuție MT/JT. Cu excepția unor cazuri speciale, acest tip de defect este cel mai sever și este, cu siguranță, cel mai simplu de calculat.
Curenții de scurtcircuit care se produc în rețele alimentate de la generatoare sincrone și în circuitele de curent continuu sunt prezentați în capitolul N.
Pentru proiectarea instalațiilor electrice, calculele simplificate și regulile practice care urmează dau rezultate destul de precise pentru marea majoritate a cazurilor.

## 4.1 Curentul de scurtcircuit la bornele de joasă tensiune ale transformatoarelor de distribuție MT/JT

### Cazul unui singur transformator

■ Ca o primă aproximație, impedanța rețelei de medie tensiune se poate neglija, astfel încât, $Isc = \frac{In \times 100}{Usc}$, unde $In = \frac{P \times 10^3}{U_{20}\sqrt{3}}$ și:

P = kVA este puterea nominală a transformatorului
$U_{20}$ = tensiunea de linie în secundarul transformatorului, în gol
$I_n$ = curentul nominal, în amperi
$I_{sc}$ = curentul de scurtcircuit, în amperi
$U_{sc}$ = tensiunea de scurtcircuit a transformatorului, în %

Valorile tipice ale $U_{sc}$ pentru transformatoarele de distribuție sunt date în **Tab. G31**.

| Puterea transformatorului (kVA) | Usc în % | |
|---|---|---|
| | Transformatoare în ulei | Transformatoare uscate |
| 50 la 750 | 4 | 6 |
| 800 la 3.200 | 6 | 6 |

***Tab. G31:*** *Valorile tipice ale $U_{sc}$ pentru diferite puteri nominale de transformatoare cu tensiuni primare ⩽ 20kV.*

■ **Exemple**
Cazul unui transformator de 400 kVA, 242/420 V în gol.
$U_{sc}$ = 4 %

$In = \frac{400 \times 10^3}{420 \times \sqrt{3}} = 550\ A \qquad Isc = \frac{550 \times 100}{4} = 13{,}7\ kA$

**Cazul mai multor transformatoare montate în paralel care alimentează o bară de distribuție.**
Valoarea curentului de scurtcircuit aferent unei plecări aflate imediat în aval de sistemul de bare (vezi **Fig. G32**) poate fi estimată ca o sumă a curenților de scurtcircuit corespunzători fiecărui transformator, calculați individual.
Se presupune că toate transformatoarele sunt alimentate din aceeași rețea de medie tensiune, în care caz, valorile însumate obținute din **Tab. G31** dau o valoare ușor mai mare decât cea reală.
Alți parametri care nu au fost luați în considerare ar putea fi impedanțele sistemului de bare și ale întreruptoarelor.
Valorile curenților de scurtcircuit astfel obținute sunt, însă, suficient de precise pentru calcule de proiectare. Alegerea întreruptoarelor și/sau a dispozitivelor de protecție împotriva curenților de scurtcircuit este prezentată în capitolul H, secțiunea 4.4.

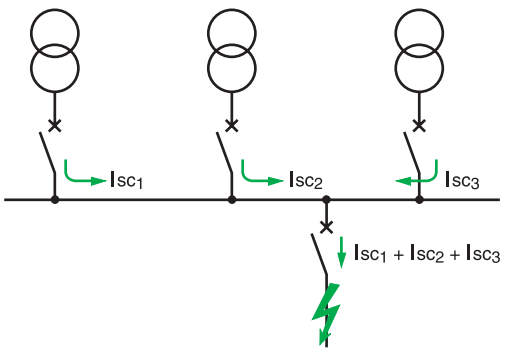



***Fig. G32:*** *Cazul mai multor transformatoare conectate în paralel.*

## 4.2 Curentul de scurtcircuit trifazat ($I_{sc}$) în orice punct al unei instalații de joasă tensiune

Curentul de scurtcircuit trifazat, $I_{sc}$, în orice punct al unei instalații electrice este dat de relația:

$$I_{sc} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3}\ Z_T}$$

unde:

$U_{20}$ = tensiunea de linie, în gol, aferentă înfășurărilor secundare ale transformatorului

$Z_T$ = impedanța totală, pe fază, a instalației din amonte de locul producerii defectului (în Ω)

### Metoda de calcul a $Z_T$

Fiecare componentă a unei instalații (rețeaua de medie tensiune, transformator, cablu, întreruptor, sistem de bare, etc.) se caracterizează printr-o impedanță proprie Z, alcătuită dintr-un element rezistiv (R) și o reactanță inductivă (X). Este de notat faptul că reactanța capacitivă nu este importantă pentru calculul curenților de scurtcircuit.

Parametrii R, X și Z sunt exprimați în ohmi, și sunt ca laturile unui triunghi dreptunghic, așa cum sunt arătați în diagrama impedanțelor din **Fig. G33**.

Metoda constă în divizarea rețelei în secțiuni convenabile și în calculul valorilor R și X pentru fiecare dintre acestea.

Acolo unde, în rețea, secțiunile sunt conectate în serie, toate elementele rezistive se adună aritmetic; la fel, reactanțele, pentru a obține valorile $R_T$ și $X_T$. Impedanța ($Z_T$) pentru secțiunile combinate se calculează apoi cu relația:

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}$$

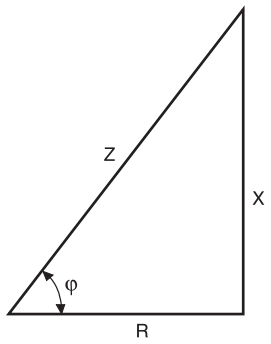



*Fig. G33: Diagrama impedanțelor.*

În cazul în care, pentru oricare două secțiuni ale rețelei conectate în paralel, predomină componenta rezistivă sau inductivă, acestea pot fi calculate astfel:

Fie $R_1$ și $R_2$ două rezistențe conectate în paralel; atunci, rezistența echivalentă $R_3$ va fi data de relația:

$$R_3 = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$ iar reactanța echivalentă $$X_3 = \frac{X_1 \times X_2}{X_1 + X_2}$$

Este de reținut faptul că, pentru calculul lui $X_3$ vor conta doar inductanțele proprii circuitelor, nu și inductanțele mutuale. Dacă circuitele conectate în paralel sunt învecinate, atunci reactanța echivalentă $X_3$ va avea o valoare sensibil mai mare.

### Determinarea impedanței fiecărei componente

■ **Rețeaua din amonte de transformatorul MT/JT** (vezi **Tab. G34**)

Curentului de scurtcircuit trifazat, $P_{SC}$, exprimat în kA sau MVA[1] este dat de autoritatea furnizoare de la care poate fi dedusă valoarea impedanței echivalente.

| $P_{sc}$ | $U_o$ (V) | $R_a$ (mΩ) | $X_a$ (mΩ) |
|---|---|---|---|
| 250 MVA | 420 | 0,07 | 0,7 |
| 500 MVA | 420 | 0,035 | 0,351 |

*Tab. G34: Impedanța rețelei de medie tensiune raportată la partea de joasă tensiune a transformatorului MT/JT.*

Formula care face această deducție și, în același timp o convertește la o impedanță echivalentă raportată la JT este următoarea:

$$Z_s = \frac{U_0^2}{P_{sc}}$$

unde:

$Z_s$ = impedanța rețelei de medie tensiune, exprimată în mΩ

$U_o$ = tensiunea de linie, în gol, pe partea de JT, exprimată în V

$P_{sc}$ = puterea de scurtcircuit trifazat, exprimat în kVA.

Rezistența rețelei MT din amonte, $R_a$ este, în general, neglijabilă în comparație cu reactanța $X_a$, aceasta fiind considerată ca o valoare ohmică aproximativă a lui $Z_a$. Dacă sunt necesare calcule mai precise, $R_a$ poate fi considerat egal cu $0{,}1X_a$, iar $X_a$ poate fi considerată a fi egală cu $0{,}995\ Z_a$.

**Tabelul G34** prezintă valorile $R_a$ și $X_a$ corespunzătoare unor puteri de scurtcircuit MT[2] uzuale, anume 250 MVA și 500 MVA.

*(1) Puterea de scurtcircuit MVA: $\sqrt{3}\ E_L I_{sc}$ unde:*
- *$E_L$: valoarea nominală a tensiunii de linie, exprimata în kV (ef.);*
- *$I_{sc}$: curentul de scurtcircuit trifazat, exprimat în kA (ef.).*

*(2) Până la 36 kV.*

# 4 Curentul de scurtcircuit

## ■ Transformatoare (vezi Fig. G35)

Impedanța $Z_{tr}$ a unui transformator, văzută la bornele de joasă tensiune, este dată de relația:

$$Z_{tr} = \frac{U_{20}^2}{P_n} \times \frac{U_{sc}}{100}$$

Unde:

$U_{20}$ = valoarea nominală a tensiunii de linie, în gol, exprimată în Volți
$P_n$ = puterea nominală a transformatorului, în kVA
$U_{sc}$ = tensiunea de scurtcircuit a transformatorului, exprimată în %.

Rezistența înfășurărilor transformatorului, $R_{tr}$ poate fi calculată cunoscându-se pierderile totale, precum urmează:

$P_{cu} = 3I_n^2 \times R_{tr}$, astfel încât $R_{tr} = \frac{P_{cu} \times 10^3}{3I_n^2}$, în miliohmi

Unde:

$P_{cu}$ = pierderile totale, în Wați
$I_n$ = valoarea nominală a curentului, în Amperi
$R_{tr}$ = rezistența pe fază a transformatorului, în mΩ (rezistențele înfășurărilor de medie tensiune și de joasă tensiune aferente unei faze sunt incluse în această valoare).

$$X_{tr} = \sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2}$$

Pentru un calcul aproximativ, $R_{tr}$ poate fi ignorat întrucât X ≈ Z în cazul transformatoarelor de distribuție standard.



| Puterea nom. a transform. (kVA) | Transformatoare în ulei | | | | Transformatoare uscate (în rășină) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Usc (%) | Rtr (mΩ) | Xtr (mΩ) | Ztr (mΩ) | Usc (%) | Rtr (mΩ) | Xtr (mΩ) | Ztr (mΩ) |
| 100 | 4 | 37,9 | 59,5 | 70,6 | 6 | 37,0 | 99,1 | 105,8 |
| 160 | 4 | 16,2 | 41,0 | 44,1 | 6 | 18,6 | 63,5 | 66,2 |
| 200 | 4 | 11,9 | 33,2 | 35,3 | 6 | 14,1 | 51,0 | 52,9 |
| 250 | 4 | 9,2 | 26,7 | 28,2 | 6 | 10,7 | 41,0 | 42,3 |
| 315 | 4 | 6,2 | 21,5 | 22,4 | 6 | 8,0 | 32,6 | 33,6 |
| 400 | 4 | 5,1 | 16,9 | 17,6 | 6 | 6,1 | 25,8 | 26,5 |
| 500 | 4 | 3,8 | 13,6 | 14,1 | 6 | 4,6 | 20,7 | 21,2 |
| 630 | 4 | 2,9 | 10,8 | 11,2 | 6 | 3,5 | 16,4 | 16,8 |
| 800 | 6 | 2,9 | 12,9 | 13,2 | 6 | 2,6 | 13,0 | 13,2 |
| 1,000 | 6 | 2,3 | 10,3 | 10,6 | 6 | 1,9 | 10,4 | 10,6 |
| 1,250 | 6 | 1,8 | 8,3 | 8,5 | 6 | 1,5 | 8,3 | 8,5 |
| 1,600 | 6 | 1,4 | 6,5 | 6,6 | 6 | 1,1 | 6,5 | 6,6 |
| 2,000 | 6 | 1,1 | 5,2 | 5,3 | 6 | 0,9 | 5,2 | 5,3 |

*Tab. G35: Valori de rezistență, reactanță și impedanță pentru transformatoare tipice de distribuție cu înfășurări MT ⩽ 20kV.*

## ■ Întreruptoare automate

În circuitele de joasă tensiune, impedanța întreruptoarelor situate în amonte de locul de defect trebuie luată în considerare. În mod convențional, valoarea reactanței se presupune a fi 0,15 mΩ/întreruptor, în timp ce valoarea rezistenței este neglijabilă.

## ■ Sistemul de bare

Rezistența sistemului de bare este în general, neglijabilă, astfel încât impedanța sa este, practic, în întregime reactivă, fiind de valoare 0,15 mΩ/m(1) (dublarea distanței dintre bare poate conduce la creșterea reactanței cu cca. 10%).

## ■ Conductoarele circuitelor

Rezistența conductorului este dată de relația: $Rc = \rho \frac{L}{S}$
unde:

ρ = rezistivitatea electrică a materialului conductorului la temperatura normală de funcționare:

- ☐ 22,5 mΩ.mm²/m pentru cupru
- ☐ 36 mΩ.mm²/m pentru aluminiu

L = lungimea conductorului, în metri
S = secțiunea conductorului, în mm².

***(1)** Pentru sistemele la 50 Hz; la 60 Hz se va considera 0,18 mΩ/m.*

Valorile reactanţelor cablului pot fi obţinute de la producător. Pentru secţiuni mai mici de 50 mm², reactanţa poate fi neglijată. În absenţa altor informaţii, pentru sistemele la 50 Hz, poate fi utilizată o valoare de 0,08 mΩ/m, iar pentru sistemele la 60 Hz, se va considera 0,096 mΩ/m. Pentru barele capsulate ca şi pentru alte sisteme de ghene prefabricate, trebuie consultat producătorul.

## ■ Motoare

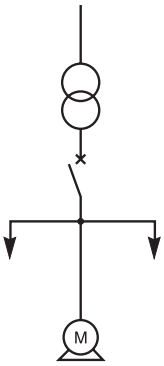
În momentul unui scurtcircuit, un motor în funcţiune va trece (pentru o scurtă perioadă de timp) în regim de generator şi va injecta un curent electric în locul de defect.
În general, contribuţia acestei injecţii de curent poate fi ignorata. Totuşi, pentru calcule mai precise, în mod special în cazul motoarelor de puteri mari şi/sau a mai multor motoare de puteri mici, contribuţia totală poate fi estimată utilizând formula: $I_{scm} = 3{,}5\ I_n$ pentru fiecare motor, respectiv, 3,5 *m* $I_n$ pentru *m* motoare similare care funcţionează simultan. Sunt luate în considerare numai motoare trifazate întrucât contribuţia motoarelor monofazate este insignifiantă.

## ■ Rezistenţa arcului electric

Defectele de scurtcircuit produc, în general, un arc electric cu proprietăţi rezistive. Rezistenţa nu este stabilă iar valoarea sa medie este scăzută, dar, la joasă tensiune, această rezistenţă este suficientă pentru a reduce curentul de defect aferent. Experienţa a arătat faptul că această reducere poate ajunge la până la 20%. Acest fenomen uşurează sarcina întreruptorului relativ la procesul de deconectare, dar nu afectează capacitatea de închiderea a contactelor pe scurtcircuit.

## ■ Tabel recapitulativ (vezi **Tab. G36)**



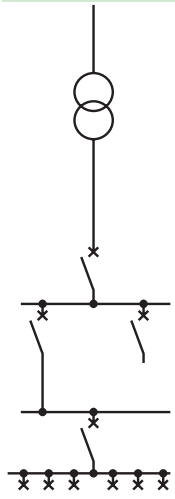
| Componente ale sistemului de alimentare | R (mΩ) | X (mΩ) |
|---|---|---|
|  Reţeaua de alimentare Tab. G34 | $\frac{R_a}{X_a} = 0{,}1$ R poate fi neglijabil în comparaţie cu X | $X_a = 0{,}995\ Z_a$ ; $Z_a = \frac{U_{20}^2}{P_{sc}}$ |
| Transformator Tab. G35 | $R_{tr} = \frac{P_{cu} \times 10^3}{3 I_n^2}$ $R_{tr}$ este adeseori neglijabil în comparaţie cu $X_{tr}$ pentru transformatoare > 100 kVA | $\sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2}$ cu $Z_{tr} = \frac{U_{20}^2}{P_n} \times \frac{U_{sc}}{100}$ |
| Întreruptor | Neglijabil | $X_D$ = 0,15 mΩ/pol |
| Sistemul de bare | Neglijabil pentru S > 200 mm² în formula: $R = \rho \frac{L}{S}$ (1) | $X_B$ = 0,15 mΩ/m |
| Conductoare(2) | $R = \rho \frac{L}{S}$ (1) | Cabluri: $X_C$ = 0,08 mΩ/m |
| Motoare | Vezi secţiunea 4.2 Motoare (adesea neglijabilă la JT) | |
| **Curent de scurtcircuit trifazat în kA** | $I_{sc} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3}\ \sqrt{R_T^2 + X_T^2}}$ | |

*$U_{20}$ = tensiunea de linie, în gol, în secundarul transformatorului MT/JT, în volţi*
*$P_{sc}$ = puterea de scurtcircuit trifazat la bornele de medie tensiune ale transformatorului MT/JT, în kVA*
*$P_{cu}$ = pierderile totale trifazate ale transformatorului MT/JT, în Waţi*
*$P_n$ = puterea nominală a transformatorului, în kVA*
*$U_{sc}$ = tensiunea de scurtcircuit a transformatorului MT/JT, în %*
*$R_T$ = rezistenţa totală; $X_T$ = reactanţa totală*
***(1)*** *ρ = rezistivitatea electrică a materialului conductorului la temperatura normală de funcţionare*
■ *22,5 mΩ.mm²/m pentru cupru;*
■ *36 mΩ.mm²/m pentru aluminiu.*
***(2)*** *În cazul mai multor conductoare în paralel pe fază, atunci rezistenţa totală se calculează prin divizarea rezistenţei unui conductor la numărul de conductoare. Reactanţa rămâne, practic, neschimbată.*

***Tab. G36:*** *Tabel recapitulativ referitor la impedanţele diferitelor părţi componente ale unui sistem de alimentare cu energie electrică.*

# 4 Curentul de scurtcircuit

■ Exemplu de calcul al curentului de scurtcircuit (vezi **Tab. G37**)

| Instalația JT | | R (mΩ) | X (mΩ) | RT (mΩ) | XT (mΩ) | $I_{sc} = \frac{420}{\sqrt{3}\sqrt{R_T^2 + X_T^2}}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
|  | Rețeaua MT<br>Psc = 500 MVA | 0,035 | 0,351 | | | |
| | Transformator<br>20 kV/420 V<br>Pn = 1000 kVA<br>Usc = 5%<br>Pcu = 13,3 x $10^3$ W | 2,24 | 8,10 | | | |
| | Cablu unifilar<br>5 m cupru<br>4 x 240 mm²/fază | $Rc = \frac{22,5}{4} x \frac{5}{240} = 0,12$ | Xc = 0,08 x 5 = 0,40 | 2,41 | 8,85 | Isc1 = 26 kA |
| | Întreruptor principal | RD = 0 | XD = 0,15 | | | |
| | Sistem de bare<br>10 m | RB = 0 | XB = 1,5 | 2,41 | 10,5 | Isc2 = 22 kA |
| | Cablu multifilar<br>100 m<br>95 mm² cupru | $Rc = 22,5 x \frac{100}{95} = 23,68$ | Xc = 100 x 0,08 = 8 | 26,1 | 18,5 | Isc3 = 7,4 kA |
| | Cablu multifilar<br>20 m<br>10 mm² cupru<br>circuite finale de distribuție | $Rc = 22,5 x \frac{20}{10} = 45$ | Xc = 20 x 0,08 = 1,6 | 71,1 | 20,1 | Isc4 = 3,2 kA |

*Tab. G37: Calculul curentului de scurtcircuit pentru o instalație de joasă tensiune, alimentată de la un transformator MT/JT de 1000kVA, 400 V.*



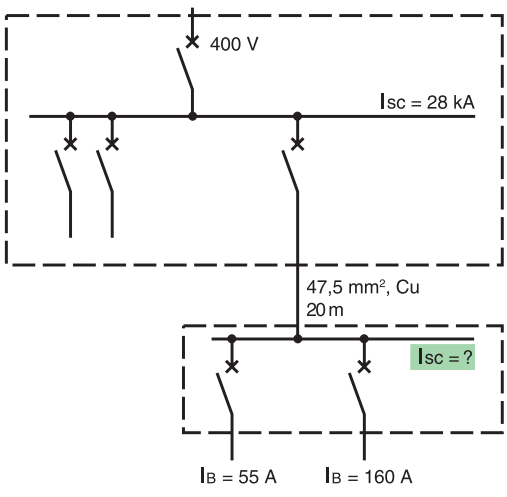



*Fig. G38: Exemplu de calcul al curentului de scurtcircuit din aval, utilizând **Tabelul G39**.*

## 4.3 Curentul de scurtcircuit $I_{sc}$ la capătul circuitului dinspre sarcină, în funcție de valoarea $I_{sc}$ la capătul dinspre sursă

Rețeaua indicată în **Fig. G38** reprezintă un caz tipic de aplicație a **Tab. G39**, rezultat din "metoda compoziției" (menționată în capitolul F, secțiunea 6.2). Aceste tabele dau în mod rapid și suficient de precis valoarea curentului de scurtcircuit într-un punct al rețelei, dacă se cunosc:

- valoarea curentului de scurtcircuit în amonte de punctul considerat;
- lungimea și structura circuitului dintre punctul în care curentul de scurtcircuit este cunoscut și punctul în care acesta se dorește determinat.

Este, prin urmare, suficientă alegerea întreruptorului automat având puterea de rupere superioară valorii indicate în tabele.
Dacă sunt necesare valori mai precise, este posibil să se realizeze calcule mai detaliate (a se vede secțiunea 4.2) sau să se utilizeze programe de calcul, precum Ecodial. În acest caz se va putea lua în considerare și tehnica filiației, prin care, utilizarea unui întreruptor limitator în amonte permite amplasarea în aval a unor întreruptoare având puteri de rupere, uneori, mult mai mici decât cele care s-ar impune altfel (a se vedea capitolul H, secțiunea 4.5).

### Metodă

Se alege secțiunea minimă admisibilă pentru conductorul din coloana corespunzătoare conductoarelor de cupru (în acest exemplu, secțiunea admisibilă este 47,5 mm²).
Se alege lungimea conductorului aferent circuitului respectiv (sau cea mai apropiată), de-a lungul rândului corespunzător lui 47,5 mm². Se coboară în coloana unde se găsește valoarea lungimii și se oprește pe rândul în dreptul căruia se găsește valoarea curentului de scurtcircuit din amonte (sau o valoare apropiată superioară). În acest caz, 30 kA este cea mai apropiată valorii 28 kA considerate. Valoarea curentului de scurtcircuit pe circuitul din aval la 20 m este dată de intersecția dintre coloana în care se găsește valoarea lungimii și rândul corespunzător curentului de scurtcircuit din amonte, $I_{sc}$ (sau unei valori apropiate, superioare).
Această valoare, în exemplu nostru este cca. 14,7 kA.
Procedura pentru conductoarele din aluminiu este asemănătoare, dar coloana trebuie să urce către mijlocul tabelului.
În consecință, un întreruptor automat montat pe o șină DIN având un curent nominal de 63 A și $I_{sc}$ = 25 kA (de exemplu NG125N) poate fi utilizat pentru valoarea curentului nominal de 55 A, aferentă circuitului din **Fig. G38**.
Un întreruptor Compact de 160 A având o putere de scurtcircuit de 25 kA (de exemplu Compact NS160) poate fi utilizat pentru protecția circuitului de 160 A.

| **Cupru 230 V/400 V** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Secț. admisibilă conductor (mm²)** | **Lungimea circuitului (în metri)** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1,5 | | | | | | | | | | | | | | 1,3 | 1,8 | 2,6 | 3,6 | 5,2 | 7,3 | 10,3 | 14,6 | 21 |
| 2,5 | | | | | | | | | | | | 1,1 | 1,5 | 2,1 | 3,0 | 4,3 | 6,1 | 8,6 | 12,1 | 17,2 | 24 | 34 |
| 4 | | | | | | | | | | | 1,2 | 1,7 | 2,4 | 3,4 | 4,9 | 6,9 | 9,7 | 13,7 | 19,4 | 27 | 39 | 55 |
| 6 | | | | | | | | | | | 1,8 | 2,6 | 3,6 | 5,2 | 7,3 | 10,3 | 14,6 | 21 | 29 | 41 | 58 | 82 |
| 10 | | | | | | | | | | 2,2 | 3,0 | 4,3 | 6,1 | 8,6 | 12,2 | 17,2 | 24 | 34 | 49 | 69 | 97 | 137 |
| 16 | | | | | | | | 1,7 | 2,4 | 3,4 | 4,9 | 6,9 | 9,7 | 13,8 | 19,4 | 27 | 39 | 55 | 78 | 110 | 155 | 220 |
| 25 | | | | | | 1,3 | 1,9 | 2,7 | 3,8 | 5,4 | 7,6 | 10,8 | 15,2 | 21 | 30 | 43 | 61 | 86 | 121 | 172 | 243 | 343 |
| 35 | | | | | | 1,9 | 2,7 | 3,8 | 5,3 | 7,5 | 10,6 | 15,1 | 21 | 30 | 43 | 60 | 85 | 120 | 170 | 240 | 340 | 480 |
| 47,5 | | | | | 1,8 | 2,6 | 3,6 | 5,1 | 7,2 | 10,2 | 14,4 | 20 | 29 | 41 | 58 | 82 | 115 | 163 | 231 | 326 | 461 | |
| 70 | | | | | 2,7 | 3,8 | 5,3 | 7,5 | 10,7 | 15,1 | 21 | 30 | 43 | 60 | 85 | 120 | 170 | 240 | 340 | | | |
| 95 | | | | 2,6 | 3,6 | 5,1 | 7,2 | 10,2 | 14,5 | 20 | 29 | 41 | 58 | 82 | 115 | 163 | 231 | 326 | 461 | | | |
| 120 | | 1,6 | 2,3 | 3,2 | 4,6 | 6,5 | 9,1 | 12,9 | 18,3 | 26 | 37 | 52 | 73 | 103 | 146 | 206 | 291 | 412 | | | | |
| 150 | 1,2 | 1,8 | 2,5 | 3,5 | 5,0 | 7,0 | 9,9 | 14,0 | 19,8 | 28 | 40 | 56 | 79 | 112 | 159 | 224 | 317 | 448 | | | | |
| 185 | 1,5 | 2,1 | 2,9 | 4,2 | 5,9 | 8,3 | 11,7 | 16,6 | 23 | 33 | 47 | 66 | 94 | 133 | 187 | 265 | 374 | 529 | | | | |
| 240 | 1,8 | 2,6 | 3,7 | 5,2 | 7,3 | 10,3 | 14,6 | 21 | 29 | 41 | 58 | 83 | 117 | 165 | 233 | 330 | 466 | 659 | | | | |
| 300 | 2,2 | 3,1 | 4,4 | 6,2 | 8,8 | 12,4 | 17,6 | 25 | 35 | 50 | 70 | 99 | 140 | 198 | 280 | 396 | 561 | | | | | |
| 2x120 | 2,3 | 3,2 | 4,6 | 6,5 | 9,1 | 12,9 | 18,3 | 26 | 37 | 52 | 73 | 103 | 146 | 206 | 292 | 412 | 583 | | | | | |
| 2x150 | 2,5 | 3,5 | 5,0 | 7,0 | 9,9 | 14,0 | 20 | 28 | 40 | 56 | 79 | 112 | 159 | 224 | 317 | 448 | 634 | | | | | |
| 2x185 | 2,9 | 4,2 | 5,9 | 8,3 | 11,7 | 16,6 | 23 | 33 | 47 | 66 | 94 | 133 | 187 | 265 | 375 | 530 | 749 | | | | | |
| 553x120 | 3,4 | 4,9 | 6,9 | 9,7 | 13,7 | 19,4 | 27 | 39 | 55 | 77 | 110 | 155 | 219 | 309 | 438 | 619 | | | | | | |
| 3x150 | 3,7 | 5,3 | 7,5 | 10,5 | 14,9 | 21 | 30 | 42 | 60 | 84 | 119 | 168 | 238 | 336 | 476 | 672 | | | | | | |
| 3x185 | 4,4 | 6,2 | 8,8 | 12,5 | 17,6 | 25 | 35 | 50 | 70 | 100 | 141 | 199 | 281 | 398 | 562 | | | | | | | |
| **$I_{sc}$ în amonte (în kA)** | **$I_{sc}$ în aval (în kA)** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 100 | 93 | 90 | 87 | 82 | 77 | 70 | 62 | 54 | 45 | 37 | 29 | 22 | 17,0 | 12,6 | 9,3 | 6,7 | 4,9 | 3,5 | 2,5 | 1,8 | 1,3 | 0,9 |
| 90 | 84 | 82 | 79 | 75 | 71 | 65 | 58 | 51 | 43 | 35 | 28 | 22 | 16,7 | 12,5 | 9,2 | 6,7 | 4,8 | 3,5 | 2,5 | 1,8 | 1,3 | 0,9 |
| 80 | 75 | 74 | 71 | 68 | 64 | 59 | 54 | 47 | 40 | 34 | 27 | 21 | 16,3 | 12,2 | 9,1 | 6,6 | 4,8 | 3,5 | 2,5 | 1,8 | 1,3 | 0,9 |
| 70 | 66 | 65 | 63 | 61 | 58 | 54 | 49 | 44 | 38 | 32 | 26 | 20 | 15,8 | 12,0 | 8,9 | 6,6 | 4,8 | 3,4 | 2,5 | 1,8 | 1,3 | 0,9 |
| 60 | 57 | 56 | 55 | 53 | 51 | 48 | 44 | 39 | 35 | 29 | 24 | 20 | 15,2 | 11,6 | 8,7 | 6,5 | 4,7 | 3,4 | 2,5 | 1,8 | 1,3 | 0,9 |
| 50 | 48 | 47 | 46 | 45 | 43 | 41 | 38 | 35 | 31 | 27 | 22 | 18,3 | 14,5 | 11,2 | 8,5 | 6,3 | 4,6 | 3,4 | 2,4 | 1,7 | 1,2 | 0,9 |
| 40 | 39 | 38 | 38 | 37 | 36 | 34 | 32 | 30 | 27 | 24 | 20 | 16,8 | 13,5 | 10,6 | 8,1 | 6,1 | 4,5 | 3,3 | 2,4 | 1,7 | 1,2 | 0,9 |
| 35 | 34 | 34 | 33 | 33 | 32 | 30 | 29 | 27 | 24 | 22 | 18,8 | 15,8 | 12,9 | 10,2 | 7,9 | 6,0 | 4,5 | 3,3 | 2,4 | 1,7 | 1,2 | 0,9 |
| 30 | 29 | 29 | 29 | 28 | 27 | 27 | 25 | 24 | 22 | 20 | 17,3 | 14,7 | 12,2 | 9,8 | 7,6 | 5,8 | 4,4 | 3,2 | 2,4 | 1,7 | 1,2 | 0,9 |
| 25 | 25 | 24 | 24 | 24 | 23 | 23 | 22 | 21 | 19,1 | 17,4 | 15,5 | 13,4 | 11,2 | 9,2 | 7,3 | 5,6 | 4,2 | 3,2 | 2,3 | 1,7 | 1,2 | 0,9 |
| 20 | 20 | 20 | 19,4 | 19,2 | 18,8 | 18,4 | 17,8 | 17,0 | 16,1 | 14,9 | 13,4 | 11,8 | 10,1 | 8,4 | 6,8 | 5,3 | 4,1 | 3,1 | 2,3 | 1,7 | 1,2 | 0,9 |
| 15 | 14,8 | 14,8 | 14,7 | 14,5 | 14,3 | 14,1 | 13,7 | 13,3 | 12,7 | 11,9 | 11,0 | 9,9 | 8,7 | 7,4 | 6,1 | 4,9 | 3,8 | 2,9 | 2,2 | 1,6 | 1,2 | 0,9 |
| 10 | 9,9 | 9,9 | 9,8 | 9,8 | 9,7 | 9,6 | 9,4 | 9,2 | 8,9 | 8,5 | 8,0 | 7,4 | 6,7 | 5,9 | 5,1 | 4,2 | 3,4 | 2,7 | 2,0 | 1,5 | 1,1 | 0,8 |
| 7 | 7,0 | 6,9 | 6,9 | 6,9 | 6,9 | 6,8 | 6,7 | 6,6 | 6,4 | 6,2 | 6,0 | 5,6 | 5,2 | 4,7 | 4,2 | 3,6 | 3,0 | 2,4 | 1,9 | 1,4 | 1,1 | 0,8 |
| 5 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 4,9 | 4,9 | 4,9 | 4,9 | 4,8 | 4,7 | 4,6 | 4,5 | 4,3 | 4,0 | 3,7 | 3,4 | 3,0 | 2,5 | 2,1 | 1,7 | 1,3 | 1,0 | 0,8 |
| 4 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 3,9 | 3,9 | 3,9 | 3,8 | 3,7 | 3,6 | 3,5 | 3,3 | 3,1 | 2,9 | 2,6 | 2,2 | 1,9 | 1,6 | 1,2 | 1,0 | 0,7 |
| 3 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,9 | 2,8 | 2,7 | 2,6 | 2,5 | 2,3 | 2,1 | 1,9 | 1,6 | 1,4 | 1,1 | 0,9 | 0,7 |
| 2 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,3 | 1,1 | 1,0 | 0,8 | 0,6 |
| 1 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,5 |
| **Aluminiu 230 V/400 V** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **Secț. admisibilă conductor (mm²)** | **Lungimea circuitului (în metri)** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2,5 | | | | | | | | | | | | | | 1,4 | 1,9 | 2,7 | 3,8 | 5,4 | 7,6 | 10,8 | 15,3 | 22 |
| 4 | | | | | | | | | | | | 1,1 | 1,5 | 2,2 | 3,1 | 4,3 | 6,1 | 8,6 | 12,2 | 17,3 | 24 | 35 |
| 6 | | | | | | | | | | | | 1,6 | 2,3 | 3,2 | 4,6 | 6,5 | 9,2 | 13,0 | 18,3 | 26 | 37 | 52 |
| 10 | | | | | | | | | | | 1,9 | 2,7 | 3,8 | 5,4 | 7,7 | 10,8 | 15,3 | 22 | 31 | 43 | 61 | 86 |
| 16 | | | | | | | | | | 2,2 | 3,1 | 4,3 | 6,1 | 8,7 | 12,2 | 17,3 | 24 | 35 | 49 | 69 | 98 | 138 |
| 25 | | | | | | | | 1,7 | 2,4 | 3,4 | 4,8 | 6,8 | 9,6 | 13,5 | 19,1 | 27 | 38 | 54 | 76 | 108 | 153 | 216 |
| 35 | | | | | | | 1,7 | 2,4 | 3,4 | 4,7 | 6,7 | 9,5 | 13,4 | 18,9 | 27 | 38 | 54 | 76 | 107 | 151 | 214 | 302 |
| 47,5 | | | | | | 1,6 | 2,3 | 3,2 | 4,6 | 6,4 | 9,1 | 12,9 | 18,2 | 26 | 36 | 51 | 73 | 103 | 145 | 205 | 290 | 410 |
| 70 | | | | | | 2,4 | 3,4 | 4,7 | 6,7 | 9,5 | 13,4 | 19,0 | 27 | 38 | 54 | 76 | 107 | 151 | 214 | 303 | 428 | |
| 95 | | | | | 2,3 | 3,2 | 4,6 | 6,4 | 9,1 | 12,9 | 18,2 | 26 | 36 | 51 | 73 | 103 | 145 | 205 | 290 | 411 | | |
| 120 | | | | | 2,9 | 4,1 | 5,8 | 8,1 | 11,5 | 16,3 | 23 | 32 | 46 | 65 | 92 | 130 | 184 | 259 | 367 | | | |
| 150 | | | | | 3,1 | 4,4 | 6,3 | 8,8 | 12,5 | 17,7 | 25 | 35 | 50 | 71 | 100 | 141 | 199 | 282 | 399 | | | |
| 185 | | | | 2,6 | 3,7 | 5,2 | 7,4 | 10,4 | 14,8 | 21 | 30 | 42 | 59 | 83 | 118 | 167 | 236 | 333 | 471 | | | |
| 240 | 1,2 | 1,6 | 2,3 | 3,3 | 4,6 | 6,5 | 9,2 | 13,0 | 18,4 | 26 | 37 | 52 | 73 | 104 | 147 | 208 | 294 | 415 | | | | |
| 300 | 1,4 | 2,0 | 2,8 | 3,9 | 5,5 | 7,8 | 11,1 | 15,6 | 22 | 31 | 44 | 62 | 88 | 125 | 177 | 250 | 353 | 499 | | | | |
| 2x120 | 1,4 | 2,0 | 2,9 | 4,1 | 5,8 | 8,1 | 11,5 | 16,3 | 23 | 33 | 46 | 65 | 92 | 130 | 184 | 260 | 367 | 519 | | | | |
| 2x150 | 1,6 | 2,2 | 3,1 | 4,4 | 6,3 | 8,8 | 12,5 | 17,7 | 25 | 35 | 50 | 71 | 100 | 141 | 200 | 282 | 399 | | | | | |
| 2x185 | 1,9 | 2,6 | 3,7 | 5,2 | 7,4 | 10,5 | 14,8 | 21 | 30 | 42 | 59 | 83 | 118 | 167 | 236 | 334 | 472 | | | | | |
| 2x240 | 2,3 | 3,3 | 4,6 | 6,5 | 9,2 | 13,0 | 18,4 | 26 | 37 | 52 | 74 | 104 | 147 | 208 | 294 | 415 | 587 | | | | | |
| 3x120 | 2,2 | 3,1 | 4,3 | 6,1 | 8,6 | 12,2 | 17,3 | 24 | 34 | 49 | 69 | 97 | 138 | 195 | 275 | 389 | 551 | | | | | |
| 3x150 | 2,3 | 3,3 | 4,7 | 6,6 | 9,4 | 13,3 | 18,8 | 27 | 37 | 53 | 75 | 106 | 150 | 212 | 299 | 423 | 598 | | | | | |
| 3x185 | 2,8 | 3,9 | 5,5 | 7,8 | 11,1 | 15,7 | 22 | 31 | 44 | 63 | 89 | 125 | 177 | 250 | 354 | 500 | 707 | | | | | |
| 3x240 | 3,5 | 4,9 | 6,9 | 9,8 | 13,8 | 19,5 | 28 | 39 | 55 | 78 | 110 | 156 | 220 | 312 | 441 | 623 | | | | | | |

***Notă:*** *Pentru un sistem trifazat având tensiunea de linie 230 V, valorile lungimii se împart la √3.*

***Tab. G39:*** *$I_{sc}$ într-un punct din aval, în funcție de curentul de scurtcircuit din amonte, de lungimea și de secțiunea admisibilă a cablului, într-un sistem trifazat de 230/400 V.*

## 4.4 Curentul de scurtcircuit generat de un alternator sau de un invertor A: a se vedea capitolul N.

# 5 Cazuri particulare ale curentului de scurtcircuit

*Dacă un dispozitiv de protecție trebuie să protejeze circuitul doar împotriva curenților de scurtcircuit, atunci este esențial ca acesta să funcționeze în mod sigur în cazul în care curentul de scurtcircuit are valoarea minimă posibilă.*

## 5.1 Calculul valorilor minime ale curentului de scurtcircuit

În general, în circuitele de joasă tensiune, un singur dispozitiv de protecție protejează împotriva tuturor valorilor curenților, pornind de la suprasarcină și până la curenți de scurtcircuit de valoare egală cu puterea de rupere a dispozitivului.
În anumite cazuri, totuși, se pot utiliza dispozitive de protecție la suprasarcină și, separat, dispozitive de protecție la scurtcircuit.

### Exemple de astfel de cazuri

**Figurile** de la **G40** la **G42** arată cazuri în care sunt utilizate dispozitive de protecție separate pentru suprasarcină și scurtcircuit.

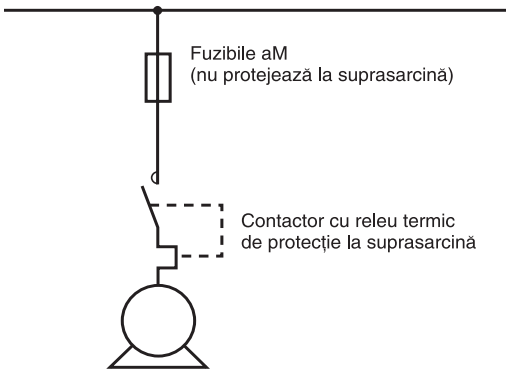



***Fig. G40:*** *Circuit protejat prin fuzibile aM.*



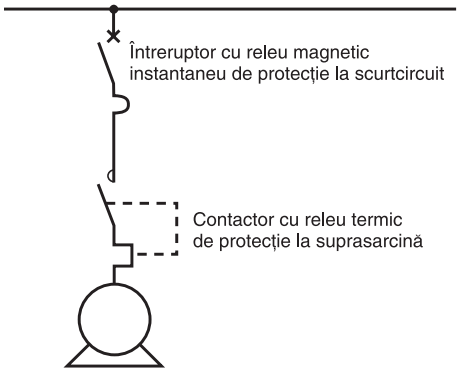

Întreruptor cu releu magnetic
instantaneu de protecție la scurtcircuit
Contactor cu releu termic
de protecție la suprasarcină

***Fig. G41:*** *Circuit protejat de întreruptor fără releu termic la suprasarcină.*

Asa cum se indică în **Figurile G40** și **G41**, cele mai uzuale circuite care utilizează dispozitive separate de protecție pentru suprasarcină și scurtcircuit, sunt cele care comandă și protejează motoare.
**Figura G42a** constituie o derogare de la regulile de protecție de bază și este, în general, utilizată pentru circuite de bare capsulate prefabricate, iluminat, etc.

### Variatoare de turație

**Tabelul G42b** indică protecțiile asigurate de variatoarele de turație și, dacă este necesar, anumite funcții adiționale ale dispozitivelor de protecție precum întreruptoare automate, relee termice, dispozitive de protecție diferențiale.

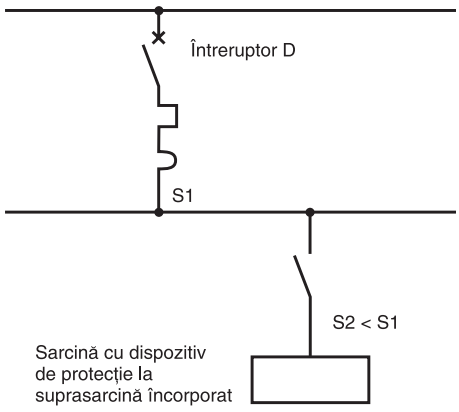



***Fig. G42a:*** *Întreruptorul D protejează împotriva scurtcircuitului întreaga instalație, inclusiv sarcina.*

| Protecția de asigurat | Protecție asigurată, în general de variatoarele de viteză | Protecție adițională |
|---|---|---|
| Suprasarcină cablu | Da = (1) | Nu este necesar dacă (1) |
| Suprasarcină motor | Da = (2) | Nu este necesar dacă (2) |
| Scurtcircuit aval | Da | |
| Suprasarcină variator | Da | |
| Supratensiune | Da | |
| Minimă tensiune | Da | |
| Lipsă fază | Da | |
| Scurtcircuit amonte | | Întreruptor automat (declanșare la scurtcircuit) |
| Defect intern | | Întreruptor automat (declanșare la scurtcircuit și suprasarcină) |
| Defect de punere la pământ aval (contact indirect) | (autoprotecție) | RCD ⩾ 300 mA |
| Contact direct | | RCD ⩽ 30 mA |

***Tab. G42b:*** *Protecții de asigurat pentru aplicații cu variatoare de turație.*

*Este necesar ca pragul magnetic instantaneu al dispozitivului de protecție să îndeplinească condițiile:*
- *$I_m < I_{sc}$ (min.) pentru protecția cu întreruptor sau fuzibil;*
- *$I_a < I_{sc}$ (min.) pentru protecția cu fuzibil.*

## Condiții de îndeplinit

Dispozitivele de protecție trebuie să îndeplinească următoarele două condiții:
- puterile lor de rupere să fie mai mari decât curentul de scurtcircuit trifazat calculat în punctul în care acesta este instalat;
- întreruperea curentului de scurtcircuit minim posibil în circuit, într-un timp compatibil cu stabilitatea termică a conductoarelor circuitului, unde:

$$tc \leqslant \frac{K^2S^2}{Isc_{min}^2}$$ (valabil pentru $t_c < 5$ secunde)

Comparația dintre curbele de funcționare ale dispozitivelor de protecție și curbele limită de stabilitate termică ale cablurilor arată faptul că această condiție este îndeplinită dacă:
- $I_{sc(min)} > I_m$ (pragul de declanșare instantaneu sau temporizat de scurtă durată) (vezi **Fig. G43**);
- $I_{sc(min)} > I_a$ pentru protecția cu fuzibil. Valoarea curentului $I_a$ corespunde cu punctul de intersecție al curbei de funcționare a fuzibilului cu cea reprezentând stabilitatea termică al cablului (vezi **Fig. G44** și **G45**).

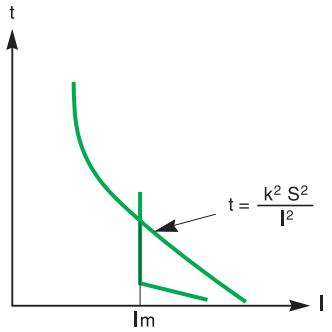



***Fig. G43:*** *Protecția cu întreruptor automat.*

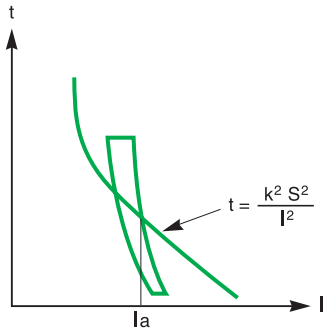



***Fig. G44:*** *Protecția cu fuzibile "aM".*

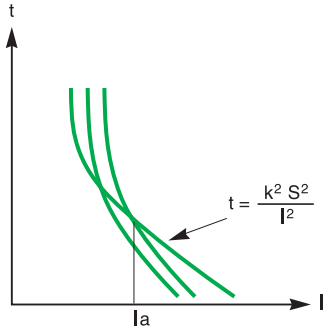



***Fig. G45:*** *Protecția cu fuzibile "gl".*

# 5 Cazuri particulare ale curentului de scurtcircuit

*În practică, aceasta înseamnă faptul că lungimea unui circuit în aval de un dispozitiv de protecție nu trebuie să depășească o valoare calculată maximă.*

$$L_{max} = \frac{0{,}8\ U\ S_{ph}}{2\rho . I_m}$$

## Metodă practică de calcul al $L_{max}$

Efectul de limitare al impedanței conductoarelor lungi asupra valorilor curenților de scutcircuit trebuie verificat și lungimea circuitelor trebuie limitată corespunzător. Metoda de calcul a lungimii maxime admisibile a fost deja indicată în cadrul sistemelor de tratare a neutrului TN și IT pentru cazul primului și, respectiv, celui de-al doilea defect (a se vedea capitolul F, secțiunile 6.2 și 7.2). În continuare sunt considerate două cazuri:

**1 Calculul $L_{max}$ pentru cazul sistemului trifazat 3 conductoare**
Curentul minim de scurtcircuit se va obține atunci când două faze sunt scurtcircuitate la capătul circuitului dinspre sarcină (vezi **Fig. G46**).

***Fig G46:*** *Definiția lui L pentru un circuit trifazat cu 3 conductoare.*

Utilizând "metoda convențională", tensiunea în punctul de protecție P se presupune că este cca. 80% din tensiunea nominală pe perioada defectului, astfel încât $0{,}8\ U = I_{sc}\ Z_d$, unde:

$Z_d$ = impedanța buclei de defect
$I_{sc}$ = curentul de scurtcircuit (fază/fază)
U = tensiunea nominală fază/fază

Pentru cabluri ⩽ 120 mm², reactanța poate fi neglijată, astfel încât:

$$Zd = \rho \frac{2L}{Sph}\ ^{(1)}$$

unde:

$\rho$ = rezistivitatea cuprului[2] la temperatura medie pe perioada scurtcircuitului
$S_{ph}$ = secțiunea admisibilă a conductorului de fază, în mm²
L = lungimea, în metri

Cablul nu va fi deteriorat datorită degajărilor de caldură dacă: $I_{sc} \geqslant I_m$.

$$Im \leqslant \frac{0{,}8\ U}{Zd} \text{ conduce la } L \leqslant \frac{0{,}8\ U\ Sph}{2\rho\, Im}$$

cu U = 400 V

$\rho = 1{,}25 \times 0{,}018 = 0{,}023\ \Omega.mm^2/m$[3]

unde:

$I_m$ = pragul magnetic al întreruptorului automat
$L_{max}$ = lungimea maximă a circuitului, în metri

$$L_{max} = \frac{k\ Sph}{Im}$$

**2 Calculul $L_{max}$ pentru un sistem trifazat cu 4 conductoare, 230/400 V**
Curentul de scurtcircuit minim se obține atunci când scurtcircuitul se produce între o fază a conductorului și conductorul de neutru.
Se impune un calcul similar cu cel din exemplul 1 de mai sus, dar utilizând următoarele formule (pentru cabluri ⩽ 120 mm²[1]).

- în cazul în care $S_n$ al conductorului neutru = $S_{ph}$ al conductorului de fază,

$$L_{max} = \frac{3{,}333\ Sph}{Im}$$

- dacă $S_n$ pentru conductorul neutru < $S_{ph}$, atunci:

$$L_{max} = 6{,}666 \frac{Sph}{Im} \frac{1}{1+m} \quad \text{unde } m = \frac{Sph}{Sn}$$

Pentru secțiuni mai mari decât cele menționate, valorile reactanțelor trebuie combinate cu cele ale rezistențelor pentru a se obține impedanțele. Reactanța poate fi considerată 0,08 mΩ/m pentru cablu (la 50 Hz). La 60 Hz, se consideră 0,096 mΩ/m.

***(1)*** *Pentru valori mai mari ale secțiunii minime admisibile, rezistența calculată pentru conductoare trebuie să crească pentru a se ține cont de densitatea neuniforma de curent prin conductor (datorită efectelor "pelicular" și "de proximitate").*
*Valori recomandate:*
*150 mm²: R + 15%*
*185 mm²: R + 20%*
*240 mm²: R + 25%*
*300 mm²: R + 30%.*
***(2)*** *Sau pentru aluminiu, în funcție de materialul conductorului.*
***(3)*** *Valoarea mai mare a rezistivității se datorează temperaturii mai ridicate a conductorului datorită trecerii curentului de scurtcircuit.*

## Valori tabelare pentru $L_{max}$

**Tabelul G47** de mai jos prezintă lungimile maxime ale circuitelor ($L_{max}$), în metri, pentru:
- circuite trifazate cu 4 conductoare, 400 V (cu neutru distribuit) și
- circuite monofazate cu 2 conductoare, 230 V

protejate prin întreruptoare uzuale.
În alte cazuri se aplică lungimilor obținute factori de corecție (indicați în **Tab. G53**).
Calculele se bazează pe o metodă anterioară iar pragul de declanșare poate fi reglat la +20% față de pragul magnetic $I_m$.
Pentru o secțiune admisibilă de 50 mm², calculele se bazează pe o secțiune reală de 47,5 mm².

| Pragul magnetic de declanșare instantanee $I_m$ (în A) | Secțiunea nominală a conductoarelor (în mm²) | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 | 10 | 16 | 25 | 35 | 50 | 70 | 95 | 120 | 150 | 185 | 240 |
| 50 | 100 | 167 | 267 | 400 | | | | | | | | | | | |
| 63 | 79 | 133 | 212 | 317 | | | | | | | | | | | |
| 80 | 63 | 104 | 167 | 250 | 417 | | | | | | | | | | |
| 100 | 50 | 83 | 133 | 200 | 333 | | | | | | | | | | |
| 125 | 40 | 67 | 107 | 160 | 267 | 427 | | | | | | | | | |
| 160 | 31 | 52 | 83 | 125 | 208 | 333 | | | | | | | | | |
| 200 | 25 | 42 | 67 | 100 | 167 | 267 | 417 | | | | | | | | |
| 250 | 20 | 33 | 53 | 80 | 133 | 213 | 333 | 467 | | | | | | | |
| 320 | 16 | 26 | 42 | 63 | 104 | 167 | 260 | 365 | 495 | | | | | | |
| 400 | 13 | 21 | 33 | 50 | 83 | 133 | 208 | 292 | 396 | | | | | | |
| 500 | 10 | 17 | 27 | 40 | 67 | 107 | 167 | 233 | 317 | | | | | | |
| 560 | 9 | 15 | 24 | 36 | 60 | 95 | 149 | 208 | 283 | 417 | | | | | |
| 630 | 8 | 13 | 21 | 32 | 63 | 85 | 132 | 185 | 251 | 370 | | | | | |
| 700 | 7 | 12 | 19 | 29 | 48 | 76 | 119 | 167 | 226 | 333 | 452 | | | | |
| 800 | 6 | 10 | 17 | 25 | 42 | 67 | 104 | 146 | 198 | 292 | 396 | | | | |
| 875 | 6 | 10 | 15 | 23 | 38 | 61 | 95 | 133 | 181 | 267 | 362 | 457 | | | |
| 1000 | 5 | 8 | 13 | 20 | 33 | 53 | 83 | 117 | 158 | 233 | 317 | 400 | 435 | | |
| 1120 | 4 | 7 | 12 | 18 | 30 | 48 | 74 | 104 | 141 | 208 | 283 | 357 | 388 | 459 | |
| 1250 | 4 | 7 | 11 | 16 | 27 | 43 | 67 | 93 | 127 | 187 | 253 | 320 | 348 | 411 | |
| 1600 | | 5 | 8 | 13 | 21 | 33 | 52 | 73 | 99 | 146 | 198 | 250 | 272 | 321 | 400 |
| 2000 | | 4 | 7 | 10 | 17 | 27 | 42 | 58 | 79 | 117 | 158 | 200 | 217 | 257 | 320 |
| 2500 | | | 5 | 8 | 13 | 21 | 33 | 47 | 63 | 93 | 127 | 160 | 174 | 206 | 256 |
| 3200 | | | 4 | 6 | 10 | 17 | 26 | 36 | 49 | 73 | 99 | 125 | 136 | 161 | 200 |
| 4000 | | | | 5 | 8 | 13 | 21 | 29 | 40 | 58 | 79 | 100 | 109 | 128 | 160 |
| 5000 | | | | 4 | 7 | 11 | 17 | 23 | 32 | 47 | 63 | 80 | 87 | 103 | 128 |
| 6300 | | | | | 5 | 8 | 13 | 19 | 25 | 37 | 50 | 63 | 69 | 82 | 102 |
| 8000 | | | | | 4 | 7 | 10 | 15 | 20 | 29 | 40 | 50 | 54 | 64 | 80 |
| 10000 | | | | | | 5 | 8 | 12 | 16 | 23 | 32 | 40 | 43 | 51 | 64 |
| 12500 | | | | | | 4 | 7 | 9 | 13 | 19 | 25 | 32 | 35 | 41 | 51 |

*Tab. G47: Lungimile maxime ale circuitelor, în metri, pentru conductoarele de cupru (pentru aluminiu, lungimile trebuie multiplicate cu 0,62).*

**Tabelele G48** la **G50** prezintă lungimile maxime ale circuitelor ($L_{max}$) în metri, pentru:
- circuitele trifazate, 4 conductoare, 400 V (cu neutru distribuit) și
- circuite monofazate cu 2 conductoare, 230 V

protejate, în ambele cazuri prin întreruptoare de uz casnic sau întreruptoare având caracteristici de declanșare similare.
În alte cazuri, se aplică factori de corecție asupra lungimilor indicate. Acești factori sunt indicați în **Tab. G51**.

# 5 Cazuri particulare ale curentului de scurtcircuit

| Curentul nominal al întreruptorului (în A) | Secțiunea nominală a conductoarelor (în mm²) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 | 10 | 16 | 25 | 35 | 50 |
| 6 | 200 | 333 | 533 | 800 | | | | | |
| 10 | 120 | 200 | 320 | 480 | 800 | | | | |
| 16 | 75 | 125 | 200 | 300 | 500 | 800 | | | |
| 20 | 60 | 100 | 160 | 240 | 400 | 640 | | | |
| 25 | 48 | 80 | 128 | 192 | 320 | 512 | 800 | | |
| 32 | 37 | 62 | 100 | 150 | 250 | 400 | 625 | 875 | |
| 40 | 30 | 50 | 80 | 120 | 200 | 320 | 500 | 700 | |
| 50 | 24 | 40 | 64 | 96 | 160 | 256 | 400 | 560 | 760 |
| 63 | 19 | 32 | 51 | 76 | 127 | 203 | 317 | 444 | 603 |
| 80 | 15 | 25 | 40 | 60 | 100 | 160 | 250 | 350 | 475 |
| 100 | 12 | 20 | 32 | 48 | 80 | 128 | 200 | 280 | 380 |
| 125 | 10 | 16 | 26 | 38 | 64 | 102 | 160 | 224 | 304 |

*Tab. G48: Lungimea maximă a conductoarelor din cupru, în metri, protejate prin întreruptoare automate, curbă B.*

| Curentul nominal al întreruptorului (în A) | Secțiunea nominală a conductoarelor (în mm²) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 | 10 | 16 | 25 | 35 | 50 |
| 6 | 100 | 167 | 267 | 400 | 667 | | | | |
| 10 | 60 | 100 | 160 | 240 | 400 | 640 | | | |
| 16 | 37 | 62 | 100 | 150 | 250 | 400 | 625 | 875 | |
| 20 | 30 | 50 | 80 | 120 | 200 | 320 | 500 | 700 | |
| 25 | 24 | 40 | 64 | 96 | 160 | 256 | 400 | 560 | 760 |
| 32 | 18,0 | 31 | 50 | 75 | 125 | 200 | 313 | 438 | 594 |
| 40 | 15,0 | 25 | 40 | 60 | 100 | 160 | 250 | 350 | 475 |
| 50 | 12,0 | 20 | 32 | 48 | 80 | 128 | 200 | 280 | 380 |
| 63 | 9,5 | 16,0 | 26 | 38 | 64 | 102 | 159 | 222 | 302 |
| 80 | 7,5 | 12,5 | 20 | 30 | 50 | 80 | 125 | 175 | 238 |
| 100 | 6,0 | 10,0 | 16,0 | 24 | 40 | 64 | 100 | 140 | 190 |
| 125 | 5,0 | 8,0 | 13,0 | 19,0 | 32 | 51 | 80 | 112 | 152 |



*Tab. G49: Lungimea maximă a conductoarelor din cupru, în metri, protejate prin întreruptoare automate, curbă C.*

| Curentul nominal al întreruptorului (în A) | Secțiunea nominală a conductoarelor (în mm²) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1,5 | 2,5 | 4 | 6 | 10 | 16 | 25 | 35 | 50 |
| 1 | 429 | 714 | | | | | | | |
| 2 | 214 | 357 | 571 | 857 | | | | | |
| 3 | 143 | 238 | 381 | 571 | 952 | | | | |
| 4 | 107 | 179 | 286 | 429 | 714 | | | | |
| 6 | 71 | 119 | 190 | 286 | 476 | 762 | | | |
| 10 | 43 | 71 | 114 | 171 | 286 | 457 | 714 | | |
| 16 | 27 | 45 | 71 | 107 | 179 | 286 | 446 | 625 | 848 |
| 20 | 21 | 36 | 57 | 86 | 143 | 229 | 357 | 500 | 679 |
| 25 | 17,0 | 29 | 46 | 69 | 114 | 183 | 286 | 400 | 543 |
| 32 | 13,0 | 22 | 36 | 54 | 89 | 143 | 223 | 313 | 424 |
| 40 | 11,0 | 18,0 | 29 | 43 | 71 | 114 | 179 | 250 | 339 |
| 50 | 9,0 | 14,0 | 23 | 34 | 57 | 91 | 143 | 200 | 271 |
| 63 | 7,0 | 11,0 | 18,0 | 27 | 45 | 73 | 113 | 159 | 215 |
| 80 | 5,0 | 9,0 | 14,0 | 21 | 36 | 57 | 89 | 125 | 170 |
| 100 | 4,0 | 7,0 | 11,0 | 17,0 | 29 | 46 | 71 | 100 | 136 |
| 125 | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 14,0 | 23 | 37 | 57 | 80 | 109 |

*Tab. G50: Lungimea maximă a conductoarelor din cupru, în metri, protejate prin întreruptoare automate, curbă D.*

| Detalii circuit | | |
|---|---|---|
| Circuit trifazat cu 3 conductoare, 400 V sau circuit monofazat cu 2 conductoare 400V (fără neutru) | | 1,73 |
| Circuit monofazat cu 2 conductoare, 230 V (fază și neutru ) | | 1 |
| Circuit trifazat 4 conductoare 230/400 V sau circuit bifazat | $S_{ph}/S_{neutru} = 1$ | 1 |
| 3 conductoare, 230/400V (cu neutru) | $S_{ph}/S_{neutru} = 2$ | 0,67 |

*Tab. G51: Factori de corecție de aplicat lungimilor obținute din **Tabelele G47** la **G50**.*

**Notă**: CEI 60898 indică un prag magnetic de declanșare superior, de 10 - 50 $I_n$ pentru circuite tipul D. Standardele Europene și **Tabelul G52** se bazează totuși pe o gamă de 10 - 20 $I_n$, nivel ce acoperă cerințele în marea majoritate a cazurilor instalațiilor casnice și similare.

## Exemple

**Exemplul 1**

Într-o instalație monofazată cu 2 conductoare, protecția este asigurată de către un întreruptor automat de 50 A, de tip NS80HMA, pragul magnetic de declanșare instantanee la care este setat, este de 500 A (precizie ±20%); cazul cel mai defavorabil impune 500 x 1,2 = 600 A la declanșare. Secțiunea cablului este 10 mm$^2$ iar materialul conductorului este cupru.

În **Tab. G47**, rândul $I_m$ = 500 A întâlnește coloana cu secțiunea admisibilă = 10 mm$^2$ la valoarea pentru $L_{max}$ de 67 m. Întreruptorul automat protejează cablul împotriva scurtcircuitului cu condiția ca lungimea sa să nu depășească 67 m.

**Exemplul 2**

Într-un circuit trifazat cu 3 conductoare (fără neutru), protecția este asigurată de un întreruptor automat de 220 A de tip NS250N cu un prag magnetic instantaneu al unității de declanșare de tip MA stabilit la 2000 A (±20%); cazul cel mai defavorabil impune 2400 A la declanșare. Cablul este de 120 mm$^2$ iar materialul conductorului este cupru.

În **Tab. G47** rândul $I_m$ = 2000 A întâlnește coloana cu secțiunea = 120 mm$^2$ la valoarea pentru $L_{max}$ de 200 m. Fiind un circuit trifazat 3 conductoare, 400 V (fără neutru), trebuie aplicat un factor de corecție indicat în **Tab. G51**. Acest factor poate fi 1,73. Întreruptorul automat protejează cablul împotriva scurtcircuitului cu condiția ca lungimea sa să nu depășească 200 x 1,73 = 346 m.

## 5.2 Verificarea stabilității termice a cablului în condiții de scurtcircuit

*În general, verificarea stabilității termice a cablului nu este necesară, excepție făcând cazurile în care cabluri de secțiuni mici sunt instalate în apropiere sau sunt alimentate direct din tablouri generale de distribuție.*

### Limitările termice

Atunci când durata unui scurtcircuit este mică (de la câteva zecimi de secundă până la cinci secunde) întreaga căldură se presupune că rămâne în interiorul conductorului, determinând o creștere a temperaturii. Procesul de încălzire este de tip adiabatic; este utilizată o ipoteză care simplifică calculele și permite un rezultat acoperitor, adică o temperatură a conductorului mai mare decât cea care se produce în realitate. În practică, însă, o parte din căldură părăsește conductorul și pătrunde în interiorul izolației.

Pentru o perioadă de 5 secunde sau mai scurtă, relația $I^2t = k^2S^2$ caracterizează timpul, în secunde, în care printr-un conductor de secțiune S (în mm$^2$) poate circula un curent I (în ameri), înainte ca temperatura să atingă un nivel care ar putea deteriora izolația.

Factorul $k^2$ este dat în **Tabelul G52** de mai jos.

| Izolație | Conductor din cupru (Cu) | Conductor din aluminiu (Al) |
|---|---|---|
| PVC | 13,225 | 5,776 |
| XLPE | 20,449 | 8,836 |

***Tab. G52:*** *Valorile constantei $k^2$.*

Metoda de verificare constă în verificarea faptului că, energia termică $I^2t/\Omega$ a materialului conductorului admisă prin întreruptorul de protecție (din catalogul producătorului) este mai mică decât cea permisă prin conductor (indicată în **Tab. G53**).

| S (mm$^2$) | PVC | | XLPE | |
|---|---|---|---|---|
| | Cupru | Aluminiu | Cupru | Aluminiu |
| 1,5 | 0,0297 | 0,0130 | 0,0460 | 0,0199 |
| 2,5 | 0,0826 | 0,0361 | 0,1278 | 0,0552 |
| 4 | 0,2116 | 0,0924 | 0,3272 | 0,1414 |
| 6 | 0,4761 | 0,2079 | 0,7362 | 0,3181 |
| 10 | 1,3225 | 0,5776 | 2,0450 | 0,8836 |
| 16 | 3,3856 | 1,4786 | 5,2350 | 2,2620 |
| 25 | 8,2656 | 3,6100 | 12,7806 | 5,5225 |
| 35 | 16,2006 | 7,0756 | 25,0500 | 10,8241 |
| 50 | 29,839 | 13,032 | 46,133 | 19,936 |

***Tab. G53:*** *Energia termică maximă admisibilă pentru cablu (exprimată în Amper$^2$ x sec. x $10^6$).*

# 5 Cazuri particulare ale curentului de scurtcircuit

**Exemplu**
Este un cablu din XLPE de secțiune 4 $mm^2$ bine protejat de un întreruptor automat C60N?
**Tabelul G53** indică faptul că valoarea $I^2t$ pentru cablu este 0,3272 x $10^6$, în timp ce valoarea maximă admisibilă pentru întreruptorul automat, din catalogul producătorului este considerabil inferioară (⩽ 0,1 x $10^6$ $A^2s$).
Cablul este, prin urmare, bine protejat de întreruptorul automat până la capacitatea sa de rupere la scurtcircuit.

## Limitările electrodinamice

Pentru toate tipurile de circuite (conductoare sau bare capsulate) este necesar să se ia în considerare efectele electrodinamice.
Pentru a rezista la solicitările electrodinamice, conductoarele trebuie să fie solid fixate iar conexiunile să fie bine realizate.
Pentru barele capsulate și pentru alte tipuri de conexiuni, ghene de curent, șine, etc. este, de asemenea, necesar să se verifice performanţele lor în ceea ce privește rezistența la efectele electrodinamice ale curenţilor de scurtcircuit. Valorile de vârf ale curenţilor, limitate de întreruptor sau fuzibil trebuie să fie inferioare celor pentru care sistemele prefabricate au fost proiectate. În general, producătorii publică tabele de coordonare care asigură protecția adecvată produselor lor și, de asemenea, reprezintă principalele avantaje ale acestor sisteme.

## 6.1 Conectare și alegere

Conductoarele de protecție (PE) realizează legătura dintre toate părțile accesibile conductoare ale unei instalații, pentru a crea legătura echipotențială principală. Aceste conductoare conduc curenții de defect datorați deteriorării izolației (dintre un conductor de fază și o parte accesibilă conductoare) către priza de pământ a sursei. Conductoarele PE sunt conectate la borna principală de împământare a instalației. Borna principală de împământare este conectată la priza de pământ (a se vedea capitolul E) prin conductorul de protecție.

Conductoarele PE trebuie să fie:
- izolate și colorate cu dungi galben/verde;
- protejate împotriva deteriorării mecanice și/sau chimice.

În schemele IT și TN este recomandată amplasarea conductorului de protecție în imediata vecinătate (în același tub sau pe același pat de cablu) a conductoarelor active aferente circuitului. Aceasta asigură o valoare minim posibilă pentru reactanța buclei curentului de defect. Este de notat că acest aranjament este prevăzut prin fabricație la barele prefabricate.

### Conectarea

Conductoarele PE trebuie :
- să nu includă nici un mijloc care să conducă la discontinuitatea circuitului (de exemplu: întreruptoare, contacte demontabile, etc.);
- să conecteze părțile active accesibile ale instalației la conductorul principal PE, în paralel și nu în serie, așa cum este indicat în **Fig. G54**;
- să fie prevăzută cu o bornă de împământare dedicată pe o bară comună de împământare situată în tablourile de distribuție.

**Schema TT**

Conductorul PE nu trebuie obligatoriu să fie amplasat în imediata vecinătate a conductoarelor active ale circuitului respectiv întrucât nu sunt necesare valori mari ale curenților de punere la pământ, pentru funcționarea dispozitivelor de protecție diferențială utilizate în instalațiile TT.

**Schemele IT și TN**

Conductorul PE sau PEN, așa cum s-a menționat anterior, trebuie să fie instalat cât se poate de apropiat de conductoarelor active corespunzătoare circuitului; nici un material fero-magnetic nu trebuie să fie interpus între acestea. Conductorul PEN trebuie întotdeauna să fie conectat direct la borna de împământare a aparatului printr-o legătură de la borna sa de împământare la borna de neutru (vezi **Fig. G55**).
- Schema TN-C (conductorul neutru și conductorul de protecție sunt unul și același și se numește PEN).

Funcția de protecție a conductorului PEN are prioritate astfel încât, toate regulile referitoare la conductoarele PE se aplică și conductoarelor PEN.
- Trecerea TN-C la TN-S

Conductorul PE al unei instalații este conectat la borna PEN sau la bara de împământare (vezi **Fig. G56**), în general la originea instalației. În aval de punctul de separare, nici un conductor PE nu mai poate fi conectat la conductorul neutru.

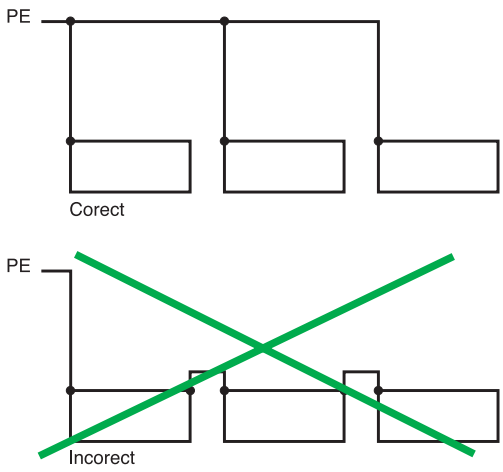



*Fig. G54: O conectare defectuasă, în serie, va lăsa toate aparatele din aval neprotejate.*

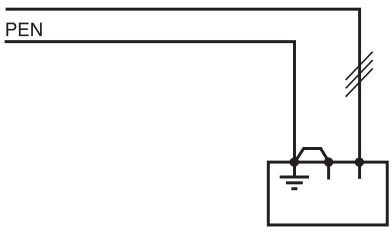



*Fig. G55: Conectarea directă a conductorului PEN la borna de împământare a aparatului.*

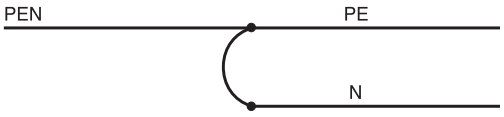



*Fig. G56: Schemă TN-C-S.*

# 6 Conductoare de protecție (PE)

## Tipuri de materiale

Materialele mentionate mai jos, în **Tabelul G57**, pot fi folosite pentru confecționarea conductoarelor PE dacă sunt îndeplinite condițiile din ultima coloană.

| Tipul de conductor de protecție PE | | Schemă IT | Schemă TN | Schemă TT | Condiții de îndeplinit |
|---|---|---|---|---|---|
| Conductor suplimentar | Cu același cablu cu conductoare de fază, sau același tub | Puternic recomandat | Puternic recomandat | Corect | Conductorul PE trebuie izolat la același nivel ca și conductoarele de fază |
| | Independent de conductoarele de fază | Posibil(1) | Posibil (1),(2) | Corect | ■ conductorul PE poate fi tip bară sau izolat(2)<br>■ Continuitatea electrică trebuie asigurată prin protecția împotriva deteriorării datorate factorilor mecanici, chimici sau electrochimici<br>■ Conductanța lor trebuie să fie corespunzătoare |
| Carcasa barelor capsulate sau a altor ghene prefabricate (5) | | Posibil(3)<br>PEN posibil(8) | PE posibil(3) | Corect | |
| Mantaua exterioară a conductoarelor cu izolație minerală (de tip "pyrotenax") | | Posibil(3) | PE posibil(3)<br>PEN nerecomandat(2),(3) | Posibil | |
| Anumite elemente externe conductoare(6) precum:<br>■ structura metalică a clădirilor<br>■ carcasele utilajelor<br>■ conducte de apă(7) | | Posibil(4) | PE posibil(4)<br>PEN interzis | Posibil | |
| Trasee metalice pentru cabluri, precum, tuburi(9), profile, grile de susținere, suporți, etc. | | Posibil(4) | PE posibil(4)<br>PEN nerecomandat(2),(4) | Posibil | |
| Interzise spre utilizare în calitate de conductoare PE sunt: tuburi metalice(9), conducte de gaz, conducte de apă caldă, armături de cablu din benzi(9) sau din sârme metalice(9). | | | | | |

***(1)*** *În schemele TN și IT protecția se realizează, în general de către dispozitive de protecție la supracurenți (fuzibile sau întreruptoare), prin urmare, impedanța buclei de defect trebuie să fie suficient de mică pentru a li se asigura funcționarea. Cel mai sigur mijloc de realizare a unei bucle de curent cu impedanță mică este să se asigure un conductor suplimentar în același cablu cu conductoarele de fază (sau să se respecte același traseu cu conductoarele de fază). Această metodă minimizează reactanța inductivă și, prin urmare, impedanța buclei de defect.*
***(2)*** *Conductorul PEN este conductorul neutru utilizat și în calitate de conductor de protecție. Aceasta înseamnă că, un anume curent poate circula prin acest conductor în orice moment (și în absența unui defect de izolație). Din acest motiv, pentru PEN este recomandat un conductor izolat.*
***(3)*** *Producătorul furnizează valorile pentru componentele R și X ale impedanței (fază/PE, fază/PEN) pentru a fi utilizate în calculul impedanței buclei de defect.*
***(4)*** *Posibil, dar nerecomandat, întrucât impedanța buclei de defect nu este cunoscută în etapa de proiectare. Măsurătorile într-o instalație realizată reprezintă singura metodă în vederea asigurării protecției persoanelor.*
***(5)*** *Trebuie să fie permisă conectarea altor conductoare PE.* ***Notă:*** *Aceste elemente trebuie să aibă o indicație vizuală galben/verde, în dungi, de lungime 15-100 mm (sau cel puțin literele PE la 15 mm de fiecare extremitate).*
***(6)*** *Aceste elemente trebuie deconectate doar dacă există alte mijloace pentru a se asigura continuitatea protecției.*
***(7)*** *Cu acordul autorităților din domeniul apei.*
***(8)*** *În cazul barelor capsulate sau a altor sisteme similare, carcasele metalice pot fi utilizate ca PEN, în paralel cu o bară corespunzătoare, sau cu un alt conductor PE din interiorul carcasei.*
***(9)*** *Interzis în anumite țări; universal permis ca și conductor suplimentar echipotențial.*

***Tab. G57:*** *Alegerea conductorului de protecție (PE).*



## 6.2 Dimensionare

**Tabelul G58** de mai jos se bazează pe Standardul CEI 60364-5-54. Acest tabel prezintă două metode pentru determinarea secțiunii minime admisibile pentru conductoarele PE și PEN și, de asemenea, pentru conductorul către priza de pământ.

| | Secțiunea conductorului de fază $S_{ph}$ (mm²) | Secțiunea minimă a conductorului (mm²) | Secțiunea minimă a conductorului (mm²) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Cu | Al |
| **Metoda simplificată** (1) | $S_{ph} \leqslant 16$ | $S_{ph}$(2) | $S_{ph}$(3) | $S_{ph}$(3) |
| | $16 < S_{ph} \leqslant 25$ | 16 | 16 | |
| | $25 < S_{ph} \leqslant 35$ | | | 25 |
| | $35 < S_{ph} \leqslant 50$ | $S_{ph}/2$ | $S_{ph}/2$ | |
| | $S_{ph} > 50$ | | | $S_{ph}/2$ |
| **Metoda adiabatică** | Orice dimensiune | $S_{PE/PEN} = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k}$ (3),(4) | | |

***(1)*** *Datele sunt valabile dacă respectivul conductor este din același material ca și conductorul de fază. În caz contrar trebuie aplicat un factor de corecție.*
***(2)*** *Atunci când conductorul PE este separat de conductoarele de fază ale circuitului, următoarele valori minime trebuie respectate:*
*a. 2,5 mm² dacă PE este protejat mecanic;*
*b. 4 mm² dacă PE nu este protejat mecanic.*
***(3)*** *Din motive mecanice, conductorul PEN nu trebuie să aibe o secțiune mai mică de 10 mm² (Cu) sau 16 mm² (Al).*
***(4 )*** *A se face referire la* ***Figura G55*** *pentru a se aplica această formulă.*
***Notă:*** *În România se acceptă secțiunile minime prevăzute în normativul NP-I7-2002, aliniatele 4.1.47 până la 4.1.49*

***Tab. G58:*** *Secțiunea minimă pentru conductoarele PE .*

Cele două metode sunt:
- Adiabatică (care corespunde cu cea descrisă în CEI 60724)

Această metodă, fiind economică și asigurând protecția conductorului împotriva supraîncălzirii, conduce la secțiuni mai mici decât cele corespunzătoare conductoarelor de fază ale circuitului. Rezultatul este, uneori, incompatibil cu cerința din cazul schemelor IT și TN de minimizare a impedanței buclei de defect, pentru a se asigura funcționarea releelor magnetice instantanee ale dispozitivelor de protecție. Această metodă este utilizată în practică pentru sistemele TT și pentru dimensionarea conductorului către priza de pământ[1].
- Simplificată

Această metodă se bazează pe anumite relații între dimensiunea conductorului PE și cea a conductoarelor de fază, presupunând că, în ambele cazuri, este folosit același material.
Prin urmare, în **Tab. G58**:

$S_{ph} \leqslant 16\ mm^2$ $S_{PE} = S_{ph}$

$16 < S_{ph} \leqslant 35\ mm^2$ $S_{PE} = 16\ mm^2$

$S_{ph} > 35\ mm^2$ $S_{PE} = \frac{S_{ph}}{2}$

**Notă:** Atunci când, în cazul schemei TT, priza de pământ a instalației se găsește în afara zonei de influență a prizei de pământ a sursei, secțiunea admisibilă a conductorului PE poate fi limitată la 25 $mm^2$ (pentru Cu) sau 35 $mm^2$ (pentru Al).
Conductorul de neutru nu poate fi folosit inclusiv ca și conductor de protecție dacă secțiunea sa minimă nu este egală sau mai mare cu 10 $mm^2$ (pentru Cu) sau 16 $mm^2$ (pentru Al).
Mai mult, un cablu flexibil nu poate fi utilizat ca PEN. Întrucât un conductor PEN este și conductor neutru, secțiunea sa nu poate, în nici un caz, să fie mai mică dacât cea necesară pentru conductorul neutru care se va discuta în secțiunea 7.1 din acest capitol.
Această secțiune nu poate fi mai mică decât cea a conductoarelor de fază decât dacă:
- puterea aparentă (exprimată în kVA) a consumatorilor monofazați este mai mică decât 10% din puterea aparentă totală, și
- curentul $I_{max}$ care parcurge conductorul neutru, în condiții normale, este mai mic decât curentul maxim admisibil pentru secțiunea respectivă de cablu.

Mai mult, protecția conductorului neutru trebuie să fie asigurată prin dispozitive de protecție destinate protecției conductoarelor de fază (așa cum se descrie în secțiunea 7.2 din acest capitol).

**Valorile factorului k de utilizat în formule**
Aceste valori sunt identice în câteva standarde naționale iar creșterea de temperatură, împreună cu valorile factorului k și cu valorile limită superioare de temperatură pentru diferite clase de izolație, corespund cu cele indicate în CEI 60724 (1984).
Datele prezentate în **Tabelul G59** sunt cele uzuale necesare pentru instalațiile de joasă tensiune.

| Valori k | | Natura izolației | |
|---|---|---|---|
| | | Policlorură de vinil (PVC) | Polietilenă reticulată (XLPE) Cauciuc-etilenă-propilenă (EPR) |
| Temperatura finală (°C) | | 160 | 250 |
| Temperatura intermediară (°C) | | 30 | 30 |
| Conductoare izolate în cabluri sau bare conductoare în contact cu mantaua de cabluri | Cupru | 143 | 176 |
| | Aluminiu | 95 | 116 |
| | Oțel | 52 | 64 |
| Conductoarele unui cablu multifilar | Cupru | 115 | 143 |
| | Aluminiu | 76 | 94 |

*Tab. G59: Valorile lui k, pentru conductoarele PE în instalațiile de joasă tensiune, uzuale în standardele naționale și în conformitate cu CEI 60724.*

*(1) Conductorul de împământare.*

# 6 Conductoare de protecție (PE)

## 6.3 Conductorul de protecție dintre transformatorul MT/JT și tabloul general de distribuție (TGJT)

*Aceste conductoare trebuie dimensionate în conformitate cu practicile naționale.*

Toate conductoarele de fază și de neutru amplasate în amonte de întreruptorul de intrare al tabloului general de distribuție (TGJT) sunt protejate de dispozitive instalate pe partea de medie tensiune a transformatorului. Conductoarele în discuție, împreună cu conductorul PE trebuie să fie dimensionate corespunzător.Dimensionarea conductoarelor de fază și de neutru de la transformator este exemplificată în secțiunea 7.5 din acest capitol (pentru circuitul C1 al sistemului desenat în **Fig. G65**).
Secțiunile recomandate pentru conductoare PE de tipul izolat sau bară de la punctul neutru al transformatorului indicat în **Fig. G60**, sunt prezentate mai jos, în **Fig. G61**.
Puterea nominală considerată, în kVA, este suma puterilor nominale ale tuturor transformatoarelor (dacă sunt mai multe) conectate la TGJT.

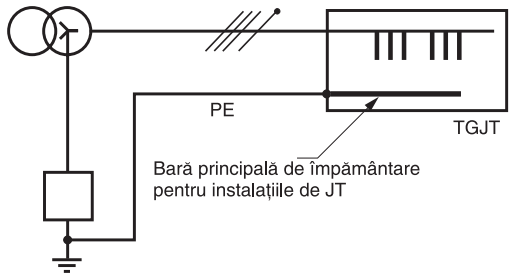



***Fig. G60:*** *Conductorul PE către bara principală de împământare a TGJT.*

Tabelul indică secțiunile conductoarelor, în mm², în conformitate cu:
- puterea nominală a transformatorului MT/JT, în kVA;
- timpul de deconectare în cazul unui defect, în secunde, al protecției de pe partea de medie tensiune;
- tipul izolației și al materialului conductorului.

Dacă protecția pe MT este cu fuzibile, atunci se va utiliza coloana cu 0,2 secunde.
În schemele IT, dacă este instalată o protecție la supratensiune (între punctul neutru al transformatorului și pământ), conductoarele de conectare a acesteia trebuie dimensionate, în conformitate cu cele descrise mai sus, în același fel ca și conductoarele PE.

| **Puterea nom. a transform.** | **Materialul conductorului** | **Conductor tip bară** | | | **Conductor izolat în PVC** | | | **Conductor izolat în XLPE** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **(JT,** | **Cupru t(s)** | **0,2** | **0,5** | **-** | **0,2** | **0,5** | **-** | **0,2** | **0,5** | **-** |
| **230/400 V)** | **Aluminiu t(s)** | **-** | **0,2** | **0,5** | **-** | **0,2** | **0,5** | **-** | **0,2** | **0,5** |
| ⩽100 | Secțiune PE | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| 160 | $S_{PE}$ (mm²) | 25 | 25 | 35 | 25 | 25 | 50 | 25 | 25 | 35 |
| 200 | | 25 | 35 | 50 | 25 | 35 | 50 | 25 | 25 | 50 |
| 250 | | 25 | 35 | 70 | 35 | 50 | 70 | 25 | 35 | 50 |
| 315 | | 35 | 50 | 70 | 35 | 50 | 95 | 35 | 50 | 70 |
| 400 | | 50 | 70 | 95 | 50 | 70 | 95 | 35 | 50 | 95 |
| 500 | | 50 | 70 | 120 | 70 | 95 | 120 | 50 | 70 | 95 |
| 630 | | 70 | 95 | 150 | 70 | 95 | 150 | 70 | 95 | 120 |
| 800 | | 70 | 120 | 150 | 95 | 120 | 185 | 70 | 95 | 150 |
| 1.000 | | 95 | 120 | 185 | 95 | 120 | 185 | 70 | 120 | 150 |
| 1.250 | | 95 | 150 | 185 | 120 | 150 | 240 | 95 | 120 | 185 |

***Tab. G61:*** *Secțiunea recomandată a conductorului PE dintre transformatorul MT/JT și tabloul general de distribuție, în funcție de puterea nominală a transformatorului și de timpul de deconectare.*

## 6.4 Conductorul de echipotențialitate

### Conductorul echipotențial principal

Acest conductor trebuie să aibă, în general, o secțiune cel puțin egală cu jumătate din cea a celui mai mare conductor PE, dar în nici un caz să nu depășească 25 $mm^2$ (pentru Cu) sau 35 $mm^2$ (pentru Al), în timp ce secțiunea sa minimă trebuie să fie de 6 $mm^2$ (pentru Cu) sau 10 $mm^2$ (pentru Al).

### Conductorul echipotențial suplimentar

Acest conductor permite ca o parte accesibilă conducătoare care este îndepărtată față de conductorul echipotențial principal (PE) să fie conectată la un conductor de protecție local. Secțiunea sa trebuie să fie cel puțin jumătate din cea a conductorului de protecție la care se conectează.
Dacă acesta conectează două părți accesibile conductoare ($M_1$ și $M_2$ din **Fig. 62**), secțiunea sa trebuie să fie cel puțin egală cu cea a celui mai mic dintre cele două conductoare PE (pentru $M_1$ și $M_2$). Conductoarele echipotențiale care nu sunt încorporate în cablu trebuie să fie protejate mecanic prin tuburi, țevi, etc, sau oricum altfel este posibil.
Alte utilizări importante ale conductoarelor echipotențiale suplimentare se referă la reducerea impedanței buclei de defect, în mod special în cazul protecției împotriva contactelor indirecte în cazul schemelor TN sau IT și, de asemenea, în zone speciale, cu risc crescut (CEI 60364-4-41).

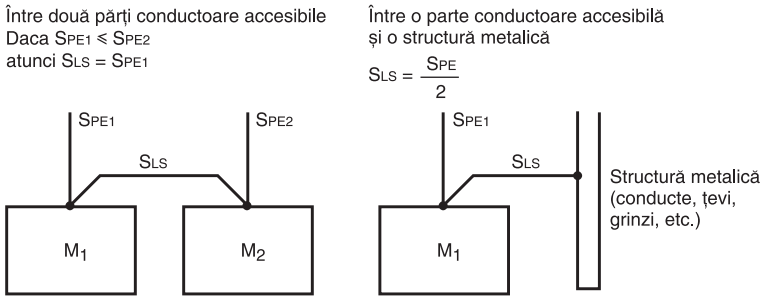



***Fig. G62:*** *Conductoare echipotențiale suplimentare.*

# 7 Conductorul neutru

În afara cerințelor legate de curentul de regim permanent, secțiunea admisibilă și protecția conductorului neutru depinde de anumiți factori, precum:
- modul de tratare al neutrului: TT, TN, etc;
- curenții armonici prezenți;
- metoda de protecție împotriva contactelor accidentale indirecte, în conformitate cu metodele descrise în continuare.

Culoarea conductorului neutru este, obligatoriu, albastră. Conductorul PEN, atunci când este izolat, va fi marcat prin una din următoarele metode:
- verde/galben pe întreaga lungime și, suplimentar, marcaj albastru la capete sau,
- albastru deschis pe întreaga lungime și, suplimentar, marcaj verde/galben la capete.

## 7.1 Dimensionarea conductorului neutru

### Influența modului de tratare al neutrului

**Schemele TT și TN-S**
- Circuite monofazate sau trifazate cu secțiuni $\leqslant$ 16 mm$^2$ (cupru) și 25 mm$^2$ (aluminiu): secțiunea conductorului neutru trebuie să fie egală cu cea a conductoarelor de fază.
- Circuite trifazate cu secțiuni > 16 mm$^2$ (cupru) și 25 mm$^2$ (aluminiu): secțiunea conductorului neutru poate fi aleasă astfel:
  - ☐ egală cu cea a conductoarelor de fază, sau
  - ☐ mai mică, cu condiția ca:

- curentul probabil care va circula prin conductorul neutru să fie mai mic decât valoarea permisă $I_z$. Influența armonicilor multiplu de 3[(1)] trebuie luată în considerare, de asemenea, sau
- conductorul neutru este protejat la scurtcircuit, în conformitate cu secțiunea G-7.2
- secțiunea conductorului neutru este cel puțin egală cu 16 mm$^2$ (cupru) și 25 mm$^2$ (aluminiu).

**Schema TN-C**

În teorie, se aplică aceleași condiții ca cele mai sus menționate, dar, în practică, conductorul neutru nu trebuie să fie întrerupt în nici o situație întrucât îndeplinește și funcția de conductor de protecție PE (vezi **Tab. G58** coloana "secțiunea pentru conductorul PEN").

**Schema IT**

În general, nu este recomandat să se distribuie conductorul neutru; sunt preferate schemele trifazate cu 3 conductoare. Când este, totuși, necesară o schemă trifazată cu 4 conductoare, sunt aplicabile condițiile descrise mai sus pentru schemele TT și TN-S.

### Influența curenților armonici

**Efectele armonicii 3 și a celor multiplu de 3**

Într-o instalație, armonicile sunt produse, în general, de sarcini neliniare (calculatoare, corpuri de iluminat cu balast electronic, redresoare, electronică de putere, etc.) și pot genera curenți mari în conductorul neutru. În mod special, armonica 3 și armonicile multiplu de 3 au tendința de a se însuma în conductorul neutru astfel:
- curenții componentei fundamentale sunt defazați cu 2$\pi$/3 radiani, astfel încât suma vectorială a lor este zero;
- pe de altă parte, curenții armonicii 3 pe cele trei faze sunt situați în același fel în raport cu cei ai componentei fundamentale și, prin urmare, sunt întotdeauna în fază (vezi **Fig. G63a**).

*(1) Armonica 3 și armonicile multiplu de 3.*

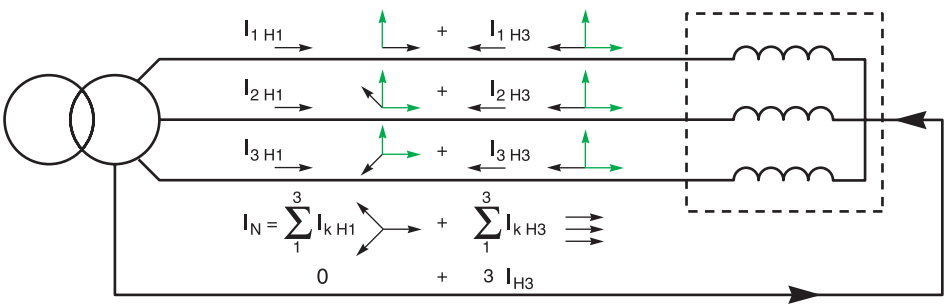



*Fig. G63a: Curenții armonicii 3 sunt în fază și se însumează în conductorul neutru.*

**Figura G63b** arată raportul dintre încărcarea conductorului neutru și cea a conductorului de fază în funcție de procentajul armonicii 3.
În practică, valoarea maximă a acestui raport nu depășește √3.

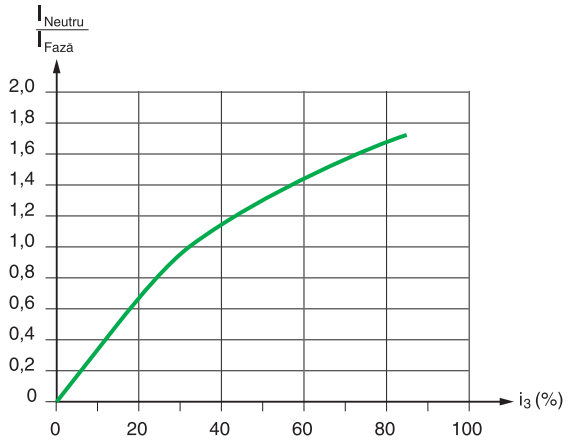



*Fig. G63b: Raportul dintre încărcarea conductorului neutru și cea a conductorului de fază în funcție de procentajul armonicii 3.*



**Factorii de corecție datorați curenților armonici, în cablurile cu 4 și 5 conductoare cu 4 conductoare active**

Calculele de bază în ceea ce privește cablurile se referă la cablurile cu trei conductoare active, adică prin conductorul neutru, nu circulă curent. Datorită armonicii 3 de curent, există curent în conductorul neutru. Prin urmare, acest conductor neutru crează un mediu cald pentru cele trei conductoare de fază și, din acest motiv trebuie luat în considerare un factor de corecție pentru conductoarele de fază (vezi **Tab. G63**).
Factorii de corecție, aplicați curentului de regim permanent al cablului cu trei conductoare active dau, de fapt, curentul de regim permanent pentru cablul cu patru conductoare active, atunci când curentul prin cel de-al patrulea conductor este generat de armonici. Factorii de corecție iau, de asemenea, în considerare efectele de încălzire create de curentul armonic prin conductoarele de fază.

- În cazul în care este de așteptat ca, prin conductorul neutru să circule un curent mai mare decât cel prin conductoarele de fază, atunci dimensionarea cablului se va face pe baza curentului prin conductorul neutru;
- În cazul în care dimensionarea cablului se face pe baza curentului prin conductorul neutru care nu este seminificativ mai mare decât cel care circulă prin conductoarele de fază, este necesar să se reducă valoarea tabelară referitoare la curentul de regim permanent aferent conductoarelor active;
- În cazul în care curentul prin conductorul neutru este mai mare decât 135% din valoarea curentului din conductoarele de fază, iar dimensionarea cablului s-a realizat pe baza curentului din conductorul de neutru, atunci cele trei conductoare active (de fază) nu vor fi total încărcate. Reducerea încălzirii generate de conductoarele de fază compensează căldura generată de conductorul neutru; prin urmare, nu este necesar să se aplice nici un factor de corecție curentului de regim permanent al celor trei conductoare active.

| Procentul armonicii 3 din curentul de fază (%) | Factorul de corecție | |
|---|---|---|
| | Dimensionarea se bazează pe curentul de fază | Dimensionarea se bazează pe curentul din conductorul de neutru |
| 0 - 15 | 1,0 | - |
| 15 - 33 | 0,86 | - |
| 33 - 45 | - | 0,86 |
| > 45 | - | 1,0 |

*Tab. G63: Factori de corecție datorați curenților armonici în conductoarele cu patru și cinci conductoare (în conformitate cu CEI 60364-5-52).*

# 7 Conductorul neutru

**Exemple**
Se consideră un circuit trifazat cu o sarcină proiectată de 37 A care circulă printr-un cablu cu izolație din PVC, fixat pe perete prin metoda de instalare C. Din **Tab. G24** un cablu de 6 mm$^2$ având conductoare din cupru are un curent de regim permanent de 40 A și, prin urmare, este adecvat dacă prin circuit nu sunt prezente armonici.
- Dacă armonica 3 este prezentă în proporție de 20%, atunci, trebuie aplicat un factor de corecție de 0,86 iar sarcina devine: 37/0,86 = 43 A. Pentru această sarcină este necesar un cablu de 10 mm$^2$;
- Dacă armonica 3 este prezentă într-un procent de 40% dimensionarea cablului se va face pe baza curentului din conductorul neutru: 37 x 0,4 x 3 = 44,4 A, căruia i se va aplica un coeficient de corecție de 0,86. Aceasta va conduce la un curent de sarcină de 44,4/0,86 = 51,6 A. Pentru această sarcină, este necesar un cablu de 10 mm$^2$;
- Dacă armonica 3 este prezentă într-un procent de 50% dimensionarea cablului se va face tot pe baza curentului din conductorul neutru: 37 x 0,5 x 3 = 55,5 A. În acest caz, factorul de corecție este 1 și se impune un cablu de 16 mm$^2$.

## 7.2 Protecția conductorului neutru

(vezi **Fig. G64**)

### Protecția împotriva suprasarcinii

Dacă conductorul neutru este corect dimensionat (inclusiv din punct de vedere al armonicilor), nu se impune nici o măsură specială de protecție, întrucât acesta este protejat de protecția asigurată conductoarelor de fază.
Totuși, în practică, dacă secțiunea conductorului neutru este mai mică decât cea a conductoarelor de fază, trebuie instalată o protecție la suprasarcină a conductorului neutru.



### Protecția împotriva defectelor de scurtcircuit

Dacă secțiunea conductorului neutru este mai mică decât cea a conductoarelor de fază, conductorul neutru trebuie protejat împotriva defectelor de scurtcircuit.
Dacă secțiunea conductorului neutru este mai mare sau egală cu cea a conductoarelor de fază, nu se impune nici o măsură specifică de protecție întrucât acesta este protejat de protecția asigurată conductoarelor de fază.

## 7.3 Întreruperea conductorului neutru

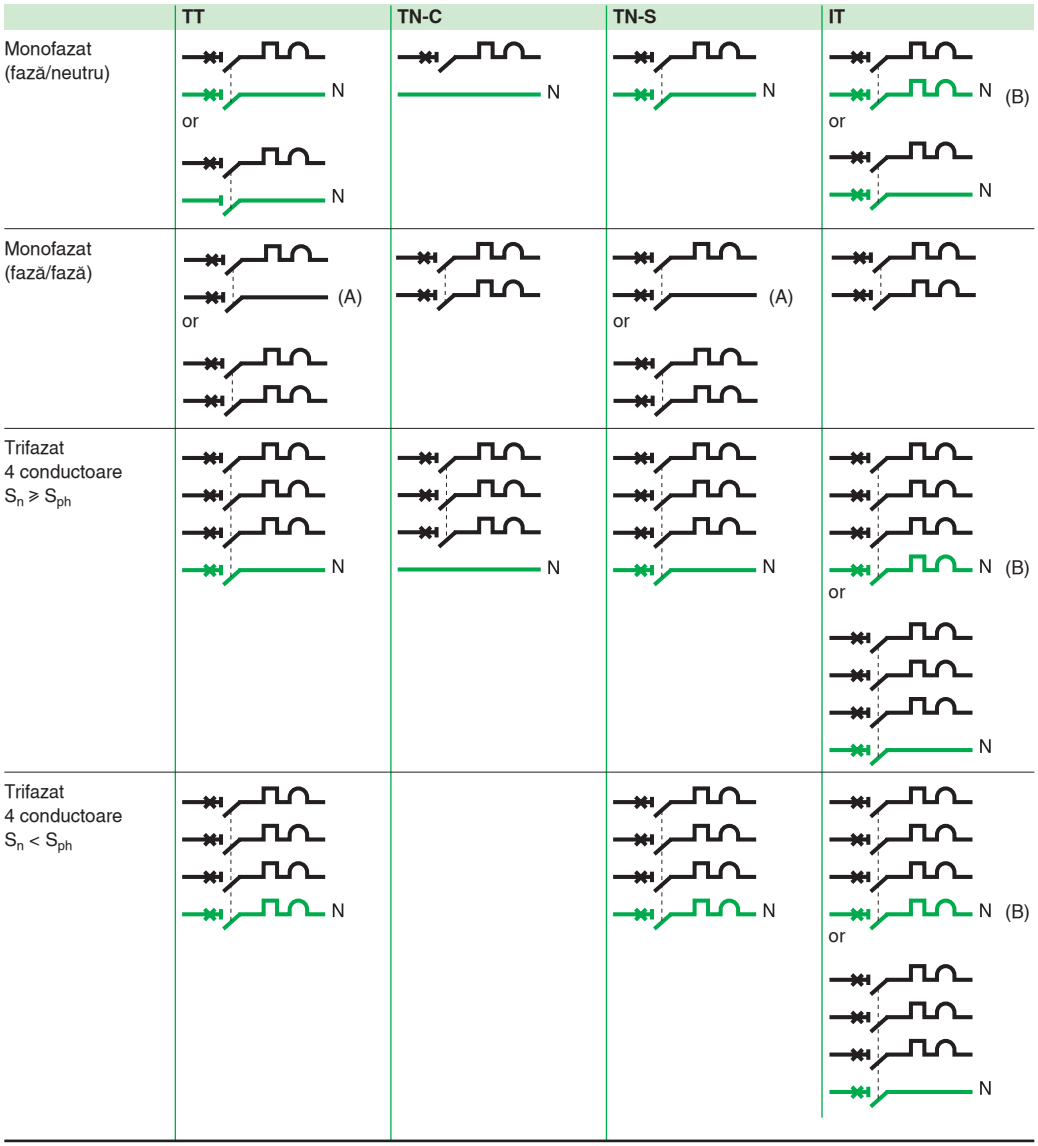
(vezi **Fig. G64**)
Necesitatea de a întrerupe neutrul este legată de protecția împotriva contactului indirect.

**Schema TN-C**
Conductorul neutru nu trebuie să fie întrerupt în nici o circumstanță întrucât acesta îndeplinește și rolul de conductor de protecție PE.

**Schemele TT, TN-S, IT**
În eventualitatea unui defect, întreruptorul va deconecta toți polii, inclusiv polul neutru (dacă întreruptorul este multipolar).
Această acțiune poate fi realizată în cazul protecției cu fuzibile doar într-un mod indirect, în care funcționarea unuia sau mai multor fuzibile provoacă o declanșare mecanică a tuturor polilor unui întreruptor asociat, conectat în serie cu protecția cu fuzibile respectivă.

## 7.4 Separarea conductorului neutru

(vezi **Fig. G64**)
O practică foarte bună este aceea ca fiecare circuit să fie echipat cu mijloace adecvate pentru separarea sa.




(A) Autorizat pentru sistemele TT sau TN-S dacă un dispozitiv de protecție împotriva curentului rezidual este instalat la originea circuitului sau în amonte, și dacă nici un neutru artifical nu este distribuit în aval.

(B) Autorizat în sistemele IT în anumite condiții: dacă întreruptorul comandă un număr de circuite finale omogene ale căror raport al calibrelor nu depășește 2 și care sunt protejate împotriva unui al doilea defect care s-ar putea produce în altă parte a instalației printr-un dispozitiv de curent diferențial rezidual de sensibilitate ⩽ 15% decât cea a calibrului protecției circuitului final având cea mai mică secțiune.

***Fig. G64:*** *Diferite situații în care apare conductorul neutru.*

# 8 Exemple de calcul pentru cabluri



## Exemple de calcul pentru cabluri (vezi **Fig. G65**)

Considerăm o instalaţie alimentată printr-un transformator de 1000 kVA. Procesul tehnologic impune un grad sporit de continuitate a serviciilor, iar acesta este realizat prin utilizarea unui generator de 500 kVA/400V și prin adoptarea sistemului trifazat IT, cu neutru nedistribuit (3 faze - 3 conductoare) la nivelul tabloului general de distribuție. Restul instalației este izolat prin intermediul unui transformator de 400 kVA, 400/400 V. Rețeaua izolată este realizată în sistemul trifazat TT cu 4 conductoare. În diagrama din **Figura G65** sunt redate rezultate ale studiului pe calculator al acestei instalații pentru circuitul $C_1$, întreruptorul $Q_1$, circuitul $C_6$ și întreruptorul $Q_6$. Aceste studii au fost realizate cu programul de calcul ECODIAL 3.3 (produs Merlin Gerin).

Aceste calcule se bazează pe metodele descrise în acest ghid.

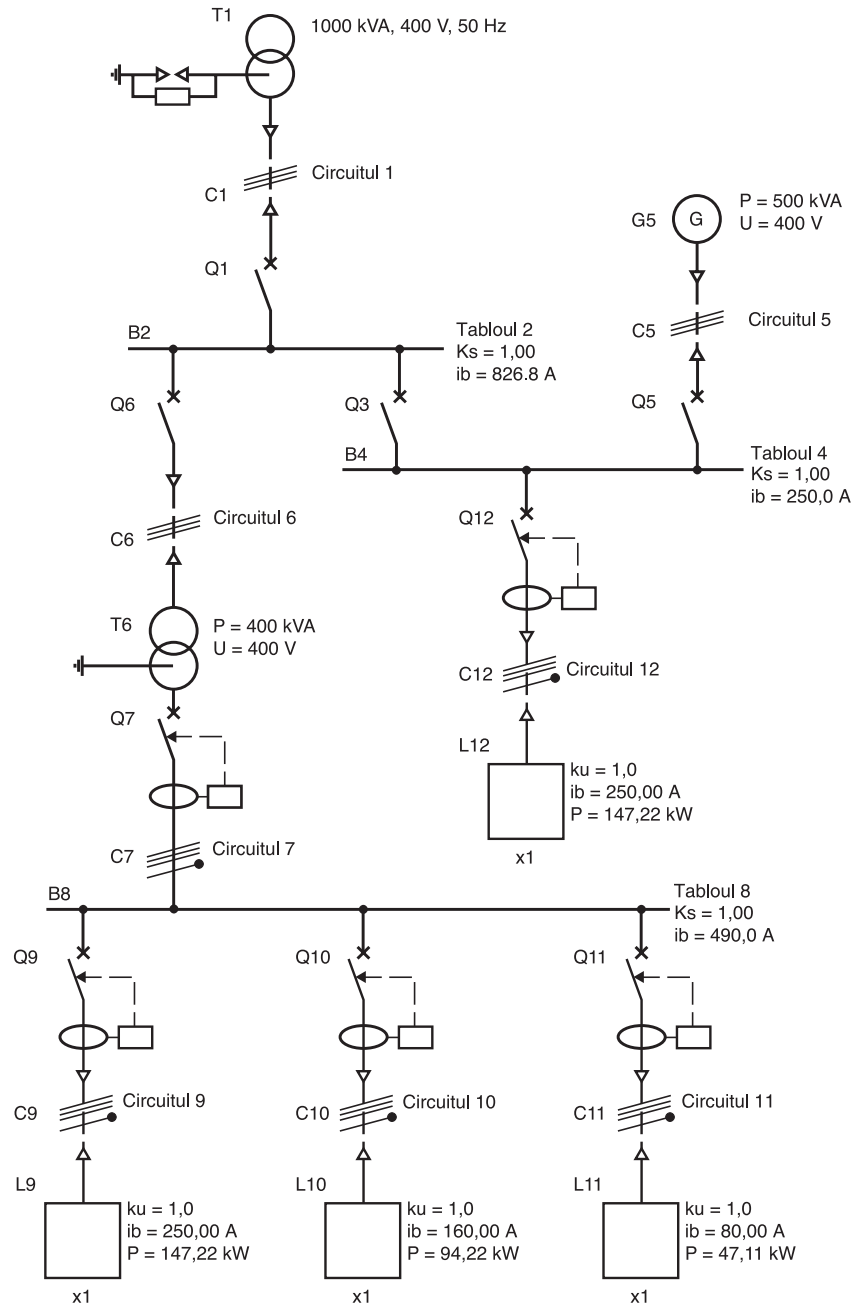



*Fig. G65: Exemplu de schemă monofilară.*

## Calcule utilizand programul Ecodial 3.3

| **Caracteristicile generale ale rețelei** | |
|---|---|
| Sistemul de tratare a neutrului | IT |
| Neutru distribuit | No |
| Tensiunea (V) | 400 |
| Frecvența (Hz) | 50 |
| **Transformatorul 1 T1** | |
| Număr de transformatoare | 1 |
| Putere de scurtcircuit în amonte (MVA) | 500 |
| Putere nominală (kVA) | 1.000 |
| Tensiunea de scurtcircuit (%) | 6 |
| Rezistența rețelei de medie tensiune (mΩ) | 0,0351 |
| Reactanța rețelei de medie tensiune (mΩ) | 0,351 |
| Rezistența transformatorului RT (mΩ) | 2,293 |
| Reactanța transformatorului XT (mΩ) | 10,333 |
| Curentul de scurtcircuit trifazat $I_{k3}$ (kA) | 23,3 |
| **Cablul $C_1$** | |
| Curentul maxim de sarcină (A) | 1.374 |
| Tipul de izolație | PVC |
| Materialul conductorului | cupru |
| Temperatura ambiantă (° C) | 30 |
| Cablu unifilar sau multifilar | UNI |
| Metoda de instalare | F |
| Numărul de circuite alăturate (**Tab. G21b**) | 1 |
| Alt coeficient | 1 |
| Secțiunea selectată a conductorului ($mm^2$) | 6 x 95 |
| Conductorul de protecție | 1 x 120 |
| Lungimea (m) | 5 |
| Căderea de tensiune ΔU (%) | 0,122 |
| Căderea de tensiune totală ΔU (%) | 0,122 |
| Curentul de scurtcircuit trifazat $I_{k3}$ (kA) | 23 |
| Curentul de defect de punere la pământ $I_d$ (kA) | 17 |
| **Întreruptorul $Q_1$** | |
| Curentul de scurtcircuit trifazat în amonte de întreruptor $I_{k3}$ (kA) | 23 |
| Curentul maxim de sarcină (A) | 1,374 |
| Numărul de poli și numărul de poli protejați | 3P3D |
| Întreruptor | NT 16 |
| Tipul întreruptorului | H 1 - 42 kA |
| Tipul declanșatorului | Micrologic 5 A |
| Curentul nominal (A) | 1.600 |

| **Sistemul de bare $B_2$** | |
|---|---|
| Curentul maxim de sarcină (A) | 1,374 |
| Tipul | standard, pe cant |
| Temperatura ambiantă (° C) | 30 |
| Dimensiuni (m și mm) | 1 m 2x5 mm x 63 mm |
| Material | Copper |
| Curentul de scurtcircuit trifazat $I_{k3}$ (kA) | 23 |
| Valoarea de vârf a curentului de scurtcircuit trifazat $I_k$ (kA) | 48 |
| Rezistența sistemului de bare R (mΩ) | 2,52 |
| Rezistența sistemului de bare X (mΩ) | 10,8 |
| **Întreruptor $Q_6$** | |
| Curentul de scurtcircuit în amonte de intreruptor $I_{k3}$ (kA) | 23 |
| Curentul maxim de sarcină (A) | 560 |
| Numărul de poli și numărul de poli protejați | 3P3D |
| Întreruptor | NS800 |
| Tipul întreruptorului | N – 50 kA |
| Tipul declanșatorului | Micrologic 2.0 |
| Curentul nominal (A) | 800 |
| Limita de selectivitate (kA) | totală |
| **Cablul $C_6$** | |
| Curentul maxim de sarcină (A) | 560 |
| Tipul de izolatie | PVC |
| Materialulu conductorului | cupru |
| Temperatura ambiantă (° C) | 30 |
| Cablu unifilar sau multifilar | UNI |
| Metoda de instalare | F |
| Numărul de circuite alăturate (Tab. G20) | 1 |
| Alt coeficient | 1 |
| Secțiunea selectată a conductorului ($mm^2$) | 1 x 300 |
| Conductorul de protecție | 1 x 150 |
| Lungimea (m) | 15 |
| Căderea de tensiune ΔU (%) | 0,38 |
| Căderea de tensiune totală ΔU (%) | 0,54 |
| Curentul de scurtcircuit trifazat $I_{k3}$ (kA) | 20 |
| Curentul de defect de punere la pământ $I_d$ (kA) | 13,7 |
| Condiții specifice de dimensionare | suprasarcină |

*Tab. G66: Calcule utilizând programul Ecodial 3.3 (Merlin Gerin).*

## Aceleași calcule utilizând metoda simplificată recomandată în acest ghid

**Dimensionarea circuitului C1**

Transformatorul de 1000 kVA are o tensiune la mersul în gol de 420 V. Circuitul $C_1$ trebuie să corespundă unui curent de fază de valoare:

$$I_B = \frac{1.000 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 420} = 1.374 \text{ A pe fază}$$

Prin urmare, pe fiecare fază vor fi utilizate 6 cabluri unifilare de cupru, cu izolație din PVC, în paralel. Aceste cabluri vor fi pozate pe un canal de cablu corespunzător metodei F. Factorii "k" de corecție sunt următorii:

$K_1 = 1$ (vezi **Tab. G12**, temperatură 30° C)

$K_4 = 0,87$ (vezi **Tab. G17**, cabluri care se ating, 1 pat de cabluri, ⩾ 3 circuite)

Alți factori de corecție nu sunt relevanți în acest exemplu.

Curentul de sarcină corectat este:

$$I'_B = \frac{I_B}{k_1 \cdot k_4} = \frac{1.374}{0,87} = 1.579 \text{ A}$$

Fiecare conductor poate transporta, prin urmare, un curent de 263 A. **Tabelul G21a** indică pentru secțiunea conductorului, valoarea de 95 $mm^2$.

# 8 Exemple de calcul pentru cabluri

Rezistențele și reactanțele inductive ale celor șase conductoare în paralel pentru o lungime de 5 m sunt:

$$R = \frac{22{,}5 \text{ x } 5}{95 \text{ x } 6} = 0{,}20 \text{ m}\Omega \text{ (rezistența cablului: 22,5 m}\Omega\text{.mm}^2\text{/m)}$$

X = 0,08 x 5 = 0,40 mΩ (reactanța cablului: 0,08 mΩ/m)

**Dimensionarea circuitului $C_6$**

Circuitul $C_6$ alimentează un transformator trifazat de izolație de putere 400 kVA, 400/400 V.

$$\text{Curentul primar} = \frac{400.10^3}{420.\sqrt{3}} = 550 \text{ A}$$

Se propune instalarea cablului unifilar, în mod singular, pe un canal de cablu, în aer liber la o temperatură de 30° C. Întreruptorul este reglat la 560 A.
Metoda de instalare este caracterizată prin litera F, iar coeficienții "k" de corecție sunt toți egali cu "1".
Este recomandată o secțiune de 240 mm².
Resistența și reactanța inductivă sunt, respectiv:

$$R = \frac{22{,}5 \text{ x } 15}{240} = 1{,}4 \text{ m}\Omega$$

X = 0,08 x 15 = 1,2 mΩ

## Calculul curentului de scurtcircuit pentru alegerea întreruptoarelor $Q_1$ și $Q_6$ (vezi Tab. G67)

| Componentele circuitului | R (mΩ) | X (mΩ) | Z (mΩ) | $I_{kmax}$ (kA) |
|---|---|---|---|---|
| 500 MVA la rețeaua de înaltă tensiune | 0,04 | 0,36 | | |
| Transformator 1 MVA | 2,2 | 9,8 | 10,0 | 23 |
| Cablul $C_1$ | 0,20 | 0,4 | | |
| **Sub-total $Q_1$** | **2,44** | **10,6** | **10,9** | **23** |
| Sistem de bare $B_2$ | 3,6 | 7,2 | | |
| Cablul $C_6$ | 1,4 | 1,2 | | |
| **Sub-total $Q_6$** | **4,0** | **8,4** | **9,3** | **20** |

*Tab. G67: Exemplu de evaluare a curentului de scurtcircuit.*

**Conductorul de protecție**

Cerințe pentru stabilitate termică: **Figurile G58** și **G59** arată faptul că, atunci când se utilizează metoda adiabatică, secțiunea conductorului de protecție PE pentru circuitul $C_1$ va fi:

$$\frac{34.800 \text{ x } \sqrt{0{,}2}}{143} = 108 \text{ mm}^2$$

Un singur conductor de secțiune 120 mm² dimensionat astfel din motive menționate ulterior este, prin urmare, suficient, realizându-se totodată condițiile unei protecții satisfăcătoare împotriva contactului indirect (deoarece impedanța este suficient de mică).
Pentru circuitul $C_6$, secțiunea conductorului de protecție PE poate fi:

$$\frac{29.300 \text{ x } \sqrt{0{,}2}}{143} = 92 \text{ mm}^2$$

În acest caz, o secțiune de 95 mm² poate fi corespunzătoare dacă condițiile de protecție împotriva contactului indirect sunt, de asemenea, satisfăcute.

**Protecția împotriva contactelor indirecte accidentale**
Pentru verificarea circuitului $C_6$ din **Fig. G65**, pot fi utilizate **Tab. F45** și **Tab. 61** sau formula indicată la pagina F27.
Lungimea maximă admisibilă a circuitului este dată de relația:

$$Lmax = \frac{0{,}8 \text{ x } 240 \text{ x } 230\sqrt{3} \text{ x } 1.000}{2 \text{ x } 22{,}5\left(1+\frac{240}{95}\right) \text{ x } 630 \text{ x } 11} = 70 \text{ m}$$

(valoarea de la numitor 630 x 11 = $I_m$ reprezintă nivelul curentului de declanșare magnetică instantanee a întreruptorului de 630 A).
Prin urmare, lungimea de 15 m este total protejată de către dispozitivele instantanee de protecție la supracurent.

**Căderea de tensiune**
Din **Tab. G28** se poate observă faptul că:
- pentru circuitul $C_1$ (6 x 95 $mm^2$/fază)

$$\Delta U = \frac{0{,}42 \text{ (V A}^{-1} \text{ km}^{-1}) \text{ x } 1.374 \text{ (A) x } 0{,}008}{3} = 1{,}54 \text{ V}$$

$$\Delta U\% = \frac{100}{400} \text{ x } 1{,}54 = 0{,}38\%$$

- pentru circuitul $C_6$

$$\Delta U = \frac{0{,}21 \text{ (V A}^{-1} \text{ km}^{-1}) \text{ x } 433 \text{ (A) x } 0{,}015}{3} = 1{,}36 \text{ V}$$

$$\Delta U\% = \frac{100}{400} \text{ x } 1{,}36 = 0{,}34\%$$

La bornele transformatorului de separație JT/JT, căderea de tensiune exprimată în procente este:
$\Delta U\% = 0{,}72\%$.

# Capitolul H
# Aparate de comutație de joasă tensiune: funcții și selecție

## Cuprins


| | | |
|---|---|---|
| 1 | **Funcțiile de bază ale aparatelor de comutație de joasă tensiune** | **H2** |
| | 1.1 Protecție electrică | H2 |
| | 1.2 Separare | H3 |
| | 1.3 Control | H4 |
| 2 | **Aparate de comutație** | **H5** |
| | 2.1 Dispozitive de comutație elementare | H5 |
| | 2.2 Dispozitive de comutație combinate | H9 |
| 3 | **Alegerea aparatelor de comutație** | **H10** |
| | 3.1 Tabel cu caracteristici funcționale | H10 |
| | 3.2 Selecția aparatelor de comutație | H10 |
| 4 | **Întreruptoare automate** | **H11** |
| | 4.1 Standarde și descriere | H11 |
| | 4.2 Caracteristici fundamentale ale unui întreruptor automat | H13 |
| | 4.3 Alte caracteristici ale unui întreruptor automat | H15 |
| | 4.4 Selecția unui întreruptor automat | H18 |
| | 4.5 Coordonarea între întreruptoarele automate | H22 |
| | 4.6 Selectivitate MT/JT într-un post de transformare tip consumator | H27 |

# 1 Funcţiile de bază ale aparatelor de comutaţie de joasă tensiune

*Rolul aparatajului electric de comutaţie constă în realizarea următoarelor funcţii:*
- *protecţie electrică;*
- *separarea sigură de părţile aflate sub tensiune;*
- *comanda locală sau de la distanţă.*

Standardele naţionale şi internaţionale definesc modul în care trebuie realizate circuitele instalaţiilor de JT precum şi caracteristicile diferitelor aparate de comutaţie.
Principalele funcţii ale aparatelor de comutaţie sunt:
- protecţie electrică;
- separare electrică a unei secţiuni dintr-o instalaţie;
- comanda locală sau de la distanţă.

Aceste funcţii sunt rezumate în **Tab. H1**.
Protecţia electrică la joasă tensiune este (excepţie siguranţele fuzibile) de obicei încorporată în întreruptoarele automate sub forma dispozitivelor termice şi electromagnetice şi/sau dispozitive de declanşare pe baza curentului rezidual (mai rar dispozitive sensibile la tensiunea reziduală - acceptate dar nerecomandate de CEI).
Celor prezentate în **Tabelul H1** li se adaugă şi alte funcţii, anume:
- protecţie la supratensiune;
- protecţie la minimă tensiune;

care sunt realizate cu dispozitive specifice (diferite tipuri de descărcătoare, relee asociate cu contactoare, întreruptoare automate comandate de la distanţă, combinaţii întreruptor automat/izolator, etc.).

| Protecţie electrică împotriva | Separare | Comandă |
|---|---|---|
| ■ curenţilor de suprasarcină<br>■ curenţilor de scurtcircuit<br>■ defectelor de izolaţie | ■ separare indicată clar de un indicator mecanic cu imunitate la defect<br>■ un interval sau barieră de separare, intercalată între contactele deschise, vizibilă în mod clar | ■ comutaţie în regim de funcţionare normală<br>■ comutaţie de urgenţă<br>■ oprire de urgenţă<br>■ deconectare pentru asig. mentenanţei mecanice |

***Tab. H1:*** *Funcţiile de bază ale unui aparat de comutaţie de JT.*

*Protecţia electrică asigură:*
- *protecţia elementelor de circuit împotriva solicitărilor termice şi mecanice produse de curenţii de scurtcircuit;*
- *protecţia persoanelor în cazul defectelor de izolaţie;*
- *protecţia receptoarelor alimentate cu energie electrică (motoare, etc.).*

## 1.1 Protecţie electrică

Scopul protecţiei este evitarea şi limitarea consecinţelor distructive sau periculoase ale supracurenţilor (suprasarcină şi scurtcircuit) şi defectelor de izolaţie, precum şi separarea circuitului defect de restul instalaţiei.
Trebuie făcută o distincţie între protecţia:
- elementelor instalaţiei (cabluri, conductoare, aparate de comutaţie, etc.);
- persoanelor şi animalelor;
- echipamentelor şi receptoarelor alimentate de la instalaţii electrice.

**Protecţia circuitelor**
- Împotriva suprasarcinii; în cazul supracurentului produs într-o instalaţie normală (fără defect).
- Împotriva curenţilor de scurtcircuit datoraţi defectului de izolaţie între conductoarele de faze diferite sau (în sistemele de tip TN) între fază şi conductorul neutru (sau PE).

Protecţia în aceste cazuri este realizată de siguranţe fuzibile sau întreruptoare automate, la nivelul tabloului de distribuţie la care este legat circuitul receptorului. Anumite derogări de la această regulă sunt autorizate în standardele naţionale, precum cele notate în capitolul H1, subcapitolul 1.4.

**Protecţia persoanelor**
- Împotriva defectelor de izolaţie. În acord cu schema (TN, TT sau IT) protecţia va fi realizată de siguranţe fuzibile sau întreruptoare automate cu dispozitive de curent diferenţial rezidual şi/sau monitorizarea permanentă a rezistenţei de izolaţie între instalaţie şi pământ.

**Protecţia motoarelor electrice**
- Împotriva supraîncălzirii datorate, de exemplu, unei suprasarcini îndelungate, rotorului blocat, funcţionării într-o singură fază, etc. Sunt utilizate relee termice proiectate special astfel încât să corespundă caracteristicilor particulare aferente motoarelor. Dacă este necesar, astfel de relee pot să protejeze la suprasarcină cablul aferent circuitului motorului. Protecţia la scurtcircuit este realizată fie de o siguranţă de tip aM fie de un întreruptor automat fără elementul de protecţie termic.

*Separarea indicată clar de un indicator cu imunitate la defect sau de o separare vizibilă a contactelor satisface standardele naționale ale multor țări.*

## 1.2 Separare

Scopul separării este să izoleze un circuit sau un receptor (de exemplu un motor, etc.) de restul sistemului alimentat cu energie astfel încât personalul să poată lucra la partea separată în perfectă siguranță.
În principiu, toate elementele unei instalații de JT trebuie să aibă mijloace de separare. În practică, pentru a menține o continuitate optimă a funcționării, este preferată asigurarea de mijloace de separare la originea fiecărui circuit.
Un dispozitiv de separare trebuie să îndeplinească următoarele cerințe:
■ toți polii circuitului incluzând neutrul (exceptând cazul când neutrul este un conductor PEN) trebuie să poată fi deschiși[1];
■ trebuie să fie asigurat cu mijloace de zăvorâre a deschiderii, cu cheie (prin intermediul unui lacăt) astfel încât să se evite reînchiderea neautorizată, accidentală;
■ trebuie să se conformeze unui standard recunoscut național sau internațional (cum este CEI 60947-3) privind distanța dintre contacte, lungimea liniei de fugă, tensiunea de ținere, etc. și de asemenea:
☐ verificarea dacă contactele dispozitivului de separare sunt realmente deschise. Verificarea poate fi:
- vizuală dacă dispozitivul este proiectat corespunzător astfel încât să permită observarea contactelor (anumite standarde naționale impun această condiție pentru un dispozitiv de separare plasat la originea unei instalații de JT alimentată direct de la un transformator MT/JT), sau
- mecanică, prin intermediul unui indicator fixat prin sudură de arborele activ al dispozitivului. În acest caz construcția dispozitivului trebuie să fie astfel încât, în eventualitatea sudării contactelor în poziția închis, indicatorul să nu poată indica poziția deschis,
☐ curenții de scurgere. Cu dispozitivul de separare deschis, curenții de scurgere între contactele deschise ale fiecărei faze nu trebuie să depășească:
- 0,5 mA pentru un dispozitiv nou
- 6 mA la sfârșitul timpului de utilizare,
☐ tensiunea de ținere între contactele deschise. Dispozitivul de separare în stare deschisă trebuie să reziste la un impuls de 1,2/50 µs având o valoare de vârf de 6, 8 sau 12 kV conform tensiunii nominale așa cum se arată în **Tab. H2**. Dispozitivul trebuie să satisfacă aceste condiții pentru altitudini de până la 2000 m. Factorii de corecție sunt dați în standardul CEI 60664-1 pentru altitudini mai mari de 2000 m. În consecință, dacă testele sunt făcute la nivelul mării, valorile de încercare trebuie mărite cu 23% pentru a lua în considerare efectul altitudinii. Vezi standardul CEI 60947.

| Tensiune nominală (de serviciu) (V) | Ținere la impuls de tensiune (pentru 2.000 m) (kV) | |
|---|---|---|
| | III | IV |
| 230/400 | 4 | 6 |
| 400/690 | 6 | 8 |
| 690/1.000 | 8 | 12 |

***Tab. H2:*** *Valorile de vârf ale impulsurilor de tensiune corespunzătoare tensiunii nominale normale. Gradele III și IV reprezintă grade de poluare definite în CEI 60664-1.*

***(1)*** *Simultaneitatea deschiderii tuturor contactelor de fază, deși nu este totdeauna obligatorie, este totuși insistent recomandată (din rațiuni de mărire a siguranței și simplității în funcționare). Contactul neutru se deschide după contactele de fază și se închide înaintea acestora (CEI 60947-1).*

# 1 Funcțiile de bază ale aparatelor de comutație de joasă tensiune

*Funcțiile de comandă ale aparatelor de comutație permit personalului de exploatare să modifice încărcarea sistemului în orice moment. Acestea includ:*
- *comanda funcțională (manevrele de comutație de rutină, etc.);*
- *comutația de urgență;*
- *lucrările de întreținere ale instalației.*

## 1.3 Control

În sens larg, prin "control" se înțelege orice facilitate de modificare, în deplină siguranță, a configurației sarcinilor instalației, la toate nivelele. Funcționarea aparatelor de comutație este o parte importantă a comenzii sistemului de alimentare.

### Comanda funcțională

Această comandă se referă la toate aparatele de comutație în condiții normale de serviciu, pentru conectarea/deconectarea unei părți a instalației sau a unui receptor de la sursa de energie. Aparatele de comutație destinate acestui rol trebuie să fie plasate cel puțin:
- la originea circuitelor de alimentare;
- la bornele receptoarelor.

Marcajul circuitelor comandate trebuie să fie clar și fără ambiguități.
Pentru a obține un maximum de flexibilitate și continuitate în funcționare, în special acolo unde aparatele de comutație realizează și funcția de protecție (cazul întreruptoarelor automate sau siguranțelor) este preferabil să se includă un aparat de comutație la fiecare nivel de distribuție, adică la fiecare ieșire a tablourilor de distribuție și subdistribuție.
Manevrele pot fi:
- manuale (prin intermediul unui levier, etc.), sau
- electrice (prin buton aflat la nivelul aparatului sau la panoul de comandă).

Aceste aparate de comutație, lucrează instantaneu (fără nici o întârziere deliberată); în plus acelea care realizează și protecția sunt totdeauna multipolare[1].
Întreruptorul general aferent sursei de alimentare a instalației precum și orice întreruptor utilizat pentru funcția de inversor de sursă trebuie să fie unități multipolare.

### Deconectarea de urgență - oprirea de urgență

O deconectare de urgență este destinată să întrerupă alimentarea unui circuit activ, care este sau poate să devină periculos (șoc electric sau incendiu).
O oprire de urgență are drept scop oprirea unei mișcări mecanice care poate să devină periculoasă.
În cele două cazuri:
- dispozitivul de comandă de urgență sau mijloacele lui de operare (locale sau de la distanță) cum ar fi butonul de oprire de urgență, în formă de ciupercă de culoare roșie, trebuie să fie accesibile și ușor de recunoscut. Acestea trebuie plasate în apropierea locului unde poate să apară sau de unde poate fi observat un pericol;
- o singură acțiune trebuie să ducă la o întrerupere completă a tuturor conductoarelor active[2][3];
- butonul de deconectare de urgență, protejat cu o fereastră din sticlă, poate să fie utilizat cu condiția ca în instalațiile neprotejate realimentarea circuitelor să poată fi realizată de o persoană autorizată, care va folosi o cheie de acces.

Trebuie notat că, în anumite cazuri, un sistem de deconectare de urgență poate să solicite ca sursa auxiliară aferentă sistemelor de frânare electromagnetică să fie menținută până la oprirea finală a utilajelor respective.

### Deconectarea în cazul lucrărilor de întreținere mecanică

Această operație asigură oprirea unei mașini și imposibilitatea de a fi repornită accidental atâta timp cât se desfășoară lucrările de întreținere. Deconectarea este în general realizată la nivelul aparatului de comutație, cu utilizarea unei zăvorâri de siguranță corespunzătoare și plasarea inscripției de atenționare la mecanismul de acționare.



***(1)*** *Să asigure o întrerupere pe fiecare fază (unde este cazul și o întrerupere a neutrului).*
***(2)*** *Luând în considerație motoarele blocate.*
***(3)*** *Într-o schemă de tratare TN conductorul PEN nu trebuie să fie niciodată întrerupt deoarece el îndeplinește funcția de împământare de protecție și de conductor neutru.*

## 2.1 Dispozitive de comutație elementare

### Separatorul (vezi Fig. H5)

Acest aparat de comutație este acționat manual, poate fi blocat prin zavorâre, având două poziții (deschis/închis) și realizează o separare sigură a circuitului în poziția deschis. Caracteristicile lui sunt definite în CEI 60947-3. Un separator nu este proiectat să închidă pe sarcină sau să deschidă pe sarcina[(1)] și nici o valoare nominală pentru acestea nu este dată în standarde. Trebuie totuși să fie capabil să reziste la trecerea curenților de scurtcircuit și este specificată valoarea curentului de scurtă durată respectiv, în general pentru o secundă, în lipsa altei înțelegeri între utilizator și producător. Această caracteristică este în mod normal adecvată pentru perioade lungi de supracurent (de valori mai mici), ca acelea de la pornirea motoarelor electrice. În cazul separatoarelor, trebuie satisfăcute valorile standardizate pentru testele de anduranță mecanică, supratensiune și curent de fugă.

### Separatorul de sarcină (vezi Fig. H6)

Acest separator de comandă este în general acționat manual (dar uneori este dotat cu declanșare electrică pentru ușurarea operării) și este un dispozitiv neautomat, cu două poziții (deschis/închis).
Acesta este capabil să închidă și să deschidă circuite sub sarcină, în condiții normale de funcționare. În consecință, separatorul de sarcină nu asigură nici o protecție pentru circuitul în care este plasat.
Standardul CEI 60947-3 definește:

- frecvența de comutație (max. 600 cicluri de închideri/deschideri pe oră);
- anduranța mecanică și electrică (în general mai mică decât a unui contactor);
- puterea de rupere și capacitatea de închidere la funcționare normală și ocazională.

Când închidem un separator de sarcină pentru a alimenta un circuit există întotdeauna posibilitatea ca un scurtcircuit neașteptat să existe în avalul circuitului. Din această cauză separatoarele de sarcină sunt caracterizate de o anumită valoare a curentului de defect pe care pot să-l suporte, în contextul apariției forțelor electrodinamice produse de curentul de scurtcircuit. Deci, aceste dispozitive pot închide curenți de defect și deschide curenți de sarcină. Ca urmare dispozitivele de protecție din amonte sunt utilizate numai pentru întreruperea curenților de defect.
Categoria AC-23 include comutația ocazională a motoarelor individuale. Comutația condensatoarelor și a lămpilor cu filament de tungsten face obiectul înțelegerii dintre producător și utilizator.
Categoriile de utilizare (vazi **Tab. H7)** nu se aplică unui echipament utilizat în mod normal pentru pornirea, accelerarea și/sau oprirea motoarelor individuale.
**Exemplu:**
Un separator de sarcină de 100 A din categoria AC-23 (sarcină inductivă) trebuie să fie capabil:

- să conecteze un curent de $10I_n$ (= 1000 A) la un factor de putere de 0,35 (inductiv);
- să deconecteze un curent de $8I_n$ (= 800 A) la un factor de putere de 0,45 (inductiv);
- să suporte curenți de scurtcircuit de scurtă durată când este în poziția închis.

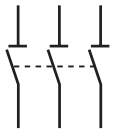


*Fig. H5: Simbol pentru un separator.*

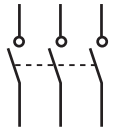


*Fig. H6: Simbol pentru un separator de sarcină.*

| Categoria de utilizare | | Aplicații tipice | Cos φ | Curentul la conectare x $I_n$ | Curentul la deconectare x $I_n$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Operare frecventă | Operare ocazională | | | | |
| AC-20A | AC-20B | Conectează și deconectează fără sarcină | - | - | - |
| AC-21A | AC-21B | Comută sarcini rezistive inclusiv suprasarcini moderate | 0,95 | 1,5 | 1,5 |
| AC-22A | AC-22B | Comută sarcini mixte rezistive și inductive inclusiv suprasarcini moderate | 0,65 | 3 | 3 |
| AC-23A | AC-23B | Comută sarcini puternic inductive (motoare și altele) | 0,45 pentru I ⩽ 100 A<br>0,35 pentru I > 100 A | 10 | 8 |

*Tab. H7: Categorii de utilizare ale aparatelor de comutație de joasă tensiune conform cu CEI 60947-3.*

*(1) Un separator de JT este un aparat de comutație care poate fi acționat numai în lipsa tensiunii, mai ales la închidere, datorită posibilității existenței unui scurtcircuit neașteptat în aval. Interblocarea cu un separator de sarcină sau cu un întreruptor automat din amonte este frecvent utilizată.*

# 2 Aparate de comutaţie

## Teleruptorul (vezi Fig. H8)

Dispozitivul este utilizat în comanda circuitelor de iluminat unde prin apăsarea unui buton (sau a unei comenzi de la distanţă) se va deschide un întreruptor închis sau se va închide un întreruptor deschis, într-o secvenţă bistabilă.
Aplicaţiile tipice sunt:
- comutaţia iluminatului pe scările marilor clădiri în sistem “control multipunct” sau “cap scară”;
- scheme de iluminat etapizat;
- sistemele de iluminat a platformelor, fabricilor, etc.

Există dispozitive auxiliare care sunt disponibile pentru:
- semnalizarea la distanţă a stării aparatului în orice moment;
- funcţii de temporizare;
- opţiuni de contact menţinut.

## Contactorul (vezi Fig. H9)

Contactorul este un aparat de comutaţie monostabilă acţionat prin intermediul unei bobine şi ţinut închis prin intermediul unui curent (redus) prin acea bobină (deşi există şi diverse tipuri de zăvorâri mecanice pentru diferite aplicaţii). Contactoarele sunt proiectate să realizeze un mare număr de cicluri închidere/deschidere şi sunt de obicei comandate de la distanţă prin butoane de închidere/deschidere.
Numărul mare de cicluri de funcţionare repetitive este standardizat în tabelul VIII a CEI 60947-4-1 prin:
- durata de funcţionare: 8 ore; fără întrerupere; intermitent; temporar, de 3, 10, 30, 60 şi 90 minute;
- categoria de utilizare: de exemplu, un contactor din categoria AC3 poate fi utilizat pentru pornirea şi oprirea unui motor cu rotorul în scurtcircuit;
- numărul de cicluri de porniri/opriri (1 la 1200 de cicluri pe oră);
- anduranţa mecanică (numărul de manevre în lipsa sarcinii);
- anduranţa electrică (numărul de manevre în sarcină);
- puterea de rupere şi capacitatea de închidere, conform cu categoria de utilizare.

**Exemplu:**
Un contactor de 150 A din categoria AC3 trebuie să aibă un curent de deconectare minim de $8I_n$ (= 1200 A) şi să conecteze un curent de $10I_n$ (= 1500 A) la un factor de putere de 0,35 (inductiv).

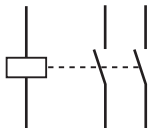


*Fig. H8: Simbol pentru un comutator bistabil controlat de la distanţă (teleruptor).*



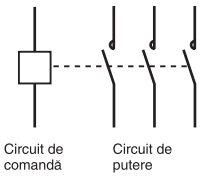



*Fig. H9: Simbol pentru un contactor.*

## Contactor echipat cu relee termice(1)

Un contactor echipat cu relee termice pentru protecţia la suprasarcină este denumit, în anumite ţări discontactor(1). Aceste aparate sunt utilizate pentru comanda circuitelor de iluminat comandate la distanţă cu butoane, etc. şi pot fi de asemenea considerate ca element esenţial în funcţionarea motoarelor, cum se specifică în paragraful 2.2 “Dispozitive de comutaţie combinate”. “Discontactorul” nu este echivalent cu întreruptorul automat, deoarece puterea sa de rupere este limitată la 8 sau 10 $I_n$ de aceea, pentru protecţia la scurtcircuit este necesar să se utilizeze siguranţe fuzibile sau un întreruptor automat, conectate în serie în amonte de contactele principale ale “discontactorului”.

*Sunt foarte des utilizate două clase de elemente fuzibile:*
- *pentru instalaţii casnice sau similare tipul gG;*
- *pentru aplicaţii industriale tipul gG, gM sau aM.*

## Siguranţe fuzibile (vezi Fig. H10)

Prima litera indică gama de rupere a arcului:
- “g” înseamnă capacitate de rupere extinsă pe toată gama;
- “a” înseamnă capacitate de rupere pe o parte a gamei.

A doua literă indică categoria de utilizare; această literă defineşte acurateţea caracteristicii timp-curent, timpii şi curenţii convenţionali, pragurile.
**Exemplu:**
- “gG” indică fuzibile cu capacitate de rupere extinsă pe toată gama pentru aplicaţii generale;
- “gM” indică fuzibile cu capacitate de rupere extinsă pe toată gama pentru protecţia motoarelor;
- “aM” indică fuzibile cu capacitate de rupere pe o parte a gamei pentru protecţia motoarelor.

Siguranţele pot fi cu şi fără semnalizator mecanic de fuziune. Siguranţele întrerup circuitul prin topirea controlată a elementului fuzibil, atunci când curentul depăşeşte o valoare dată, corespunzătoare unei anumite durate de timp; relaţia curent/timp este dată sub forma caracteristicii de protecţie, specifică fiecărui tip de siguranţă.
Standardele definesc două clase de siguranţe fuzibile:
- cele destinate instalaţiilor casnice, fabricate sub forma elementelor de înlocuire pentru curenţi nominali de până la 100 A, tip “gG” în CEI 60269-1 şi 3;
- cele pentru uz industrial, element de înlocuire denumit tip “gG” (uz general); “gM” şi “aM” (pentru circuitele motoarelor) în CEI 60269-1 şi 2.

*Fig. H10: Simbol pentru fuzibile.*

*(1) Acest termen nu este definit în publicaţiile CEI, dar este curent utilizat în câteva ţări, dar nu şi în România.*

Principalele diferențe între siguranțele casnice și industriale constau în tensiunea nominală și valorile de curent (care cer dimensiuni fizice mult mai mari) precum și caracteristicile de întrerupere a curentului de defect. Tipul “gG” este des utilizat pentru protecția circuitelor motoarelor, ceea ce este posibil atunci când caracteristicile lor le permit să reziste la curentul de pornire al motorului fără a fi deteriorate.
Recent au fost adoptate de CEI siguranțele de tip “gM” pentru protecția motoarelor destinate să acopere condițiile de pornire și de regim de scurtcircuit. Acest tip de siguranță este utilizat pe larg în anumite țări, dar în prezent siguranțele de tip “aM”, în combinație cu relee termice de suprasarcină, sunt mult mai folosite.
Siguranța de tip “gM” este caracterizată prin două valori de curent. Prima valoare definește curentul nominal al elementului înlocuitor și al contactului fix; a doua valoare $I_{ch}$ definește caracteristica timp-curent a elementului înlocuitor ca în tabelele II, III și VI din CEI 60269-1.
Aceste două valori sunt separate printr-o literă care definește tipul de utilizare.
De exemplu: $I_nMI_{ch}$ definește o siguranță destinată utilizării pentru protecția unui motor și având caracteristica G. Prima valoare $I_n$ corespunde curentului continuu maxim pentru ansamblul siguranței și a doua $I_{ch}$ corespunde caracteristicii G pentru elementul de înlocuire. Pentru mai multe detalii, a se consulta nota de la sfârșitul subcapitolului 2.1.
Un element înlocuitor “aM” este definit de o valoare de curent $I_n$ și o caracteristică timp-curent așa cum se prezintă în **Fig. H14** (pagina următoare).
**Important:** Anumite standarde naționale utilizează tipul (industrial) de siguranțe “gl” care are aceleași caracteristici principale ca și tipul “gG”. Oricum siguranțele de tip “gl” nu trebuie să fie utilizate în instalații casnice.

*Fuzibilele de tip gM necesită un releu de suprasarcină, așa cum este descris în nota de la sfârșitul subcapitolului 2.1.*

## Zone de fuziune - curenți convenționali

Aceste siguranțe realizează protecția la suprasarcină și scurtcircuit. Curenții convenționali de nonfuziune și fuziune sunt standardizați, așa cum se arată în **Fig. H12** și **Tab. H13**.

- Curentul convențional de nonfuziune $I_{nf}$ este valoarea curentului pe care elementul fuzibil poate să-l suporte un timp specificat, fără să se topească.

**Exemplu:** O siguranță de 32 A la un curent de 1,25$I_n$ (= 40 A) nu trebuie să se topească în mai puțin de o oră (**Tab. H13**) .

- Curentul convențional de fuziune $I_f$ (= I2 în **Fig. H12**) este valoarea de curent care va produce topirea elementului de înlocuire, înainte de scurgerea unui timp specificat.

**Exemplu:** O siguranță de 32 A supusă unui curent de 1,6$I_n$ (= 52,1 A) trebuie să se topească în timp de o oră sau mai puțin (**Tab. H13**).
Testele standardizate CEI 60269-1 impun plasarea caracteristicii de funcționare a siguranțelor între două curbe limită (arătate în **Fig. H12**). Aceasta înseamnă că două siguranțe care satisfac testul pot avea timpi de funcționare semnificativ diferiți, în special pentru suprasarcini de valori reduse.

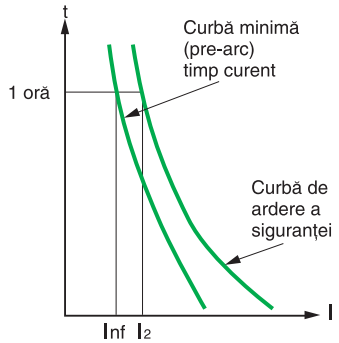



***Fig. H12:*** *Zona de fuziune și nonfuziune a fuzibilelor de tip “gG” și “gM” .*

| Curent nominal(1) $I_n$ (A) | Curent de nonfuziune convențional $I_{nf}$ | Curent de fuziune convențional $I_2$ | Timpul convențional (h) |
|---|---|---|---|
| $I_n \leqslant 4$ A | 1,5 $I_n$ | 2,1 $I_n$ | 1 |
| $4 < I_n < 16$ A | 1,5 $I_n$ | 1,9 $I_n$ | 1 |
| $16 < I_n \leqslant 63$ A | 1,25 $I_n$ | 1,6 $I_n$ | 1 |
| $63 < I_n \leqslant 160$ A | 1,25 $I_n$ | 1,6 $I_n$ | 2 |
| $160 < I_n \leqslant 400$ A | 1,25 $I_n$ | 1,6 $I_n$ | 3 |
| $400 < I_n$ | 1,25 $I_n$ | 1,6 $I_n$ | 4 |

***Tab. H13:*** *Zona de fuziune și nonfuziune a fuzibilelor de JT de tip “gG” și “gM” (CEI 60269-1 și 60269-2-1).*

***(1)*** *Ich pentru siguranțe tip gM.*

*Siguranțele din clasa "aM" protejează numai la curenți de scurtcircuit și trebuie întotdeauna asociate cu un alt dispozitiv care să protejeze la suprasarcină.*

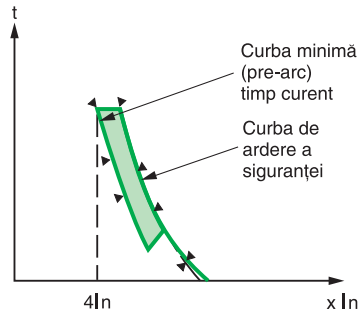
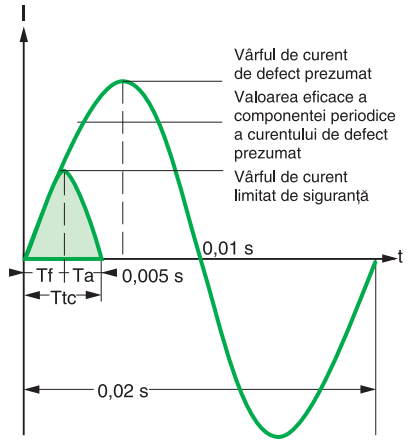



*Fig. H14: Zona standardizată de fuziune a fuzibilelor de tip aM (toate calibrele de curent).*




Tf: Timpul de pre-arc al siguranței
Ta: Timpul de arc, până la trecerea prin zero
Ttc: Timpul total de eliminare a defectului

*Fig. H15: Limitarea de curent dată de o siguranță.*

■ Cele două exemple, pentru o siguranță de 32 A, împreună cu specificațiile precedente asupra condițiilor de încercare standard, explică de ce aceste siguranțe au performanțe modeste în domeniul suprasarcinilor reduse.
■ De aceea este necesar să fie instalat un cablu supradimensionat față de cerințele normale ale circuitului, pentru a evita consecințele unei posibile suprasarcini prelungite (suprasarcină 60% pentru cel mult o oră în cel mai rău caz).
Pentru comparație, un întreruptor cu un curent nominal similar:
■ parcurs de 1,05$I_n$ nu trebuie să declanșeze în mai puțin de o oră, și
■ parcurs de un curent de 1,25$I_n$ trebuie să declanșeze într-o oră sau mai puțin (suprasarcină 25% pentru cel mult o oră în cel mai rău caz).

**Siguranțele din clasa "aM" (pentru motoare)**
Aceste siguranțe realizează protecția numai la curenții de scurtcircuit și trebuie să fie asociate cu alte aparate de comutație (contactoare echipate cu relee termice sau întreruptoare automate) pentru a asigura protecția la suprasarcină cu valori < 4$I_n$. De aceea ele nu sunt autonome.
Deoarece siguranțele "aM" nu sunt destinate să protejeze la nivele reduse de curent de suprasarcină, nu sunt fixate valori pentru curenții convenționali de fuziune și nonfuziune.
Curbele caracteristice pentru încercarea acestor siguranțe, sunt date pentru valori ale curentului de defect depășind aproximativ 4$I_n$ (vezi **Fig. H14**) și siguranțele încercate conform CEI 60269 trebuie să aibă curbe de funcționare care se plasează în interiorul zonei hașurate.
**Notă:** Vârfurile de săgeată din diagramă indică zona permisă a caracteristicii timp-curent, pentru diferite siguranțe testate conform CEI 60269.

## Curenții de rupere nominali în regim de scurtcircuit

O caracteristică a siguranțelor fuzibile moderne este aceea că datorită fuziunii rapide în cazul curentului de scurtcircuit de valoare mare(1), întreruperea începe înaintea apariției curentului de vârf, astfel încât curentul de defect nu atinge niciodată valoarea sa prezumată (vezi **Fig. H15**).
Această limitare a curentului reduce semnificativ solicitările termice și electrodinamice care ar putea să apară, minimizând consecințele la locul defectului.
Puterea de rupere la scurtcircuit a siguranței se bazează de aceea pe valoarea efectivă a componentei de c.a. a curentului prezumat de defect. Pentru siguranțe fuzibile nu este specificată nici o valoare nominală la închiderea pe scurtcircuit, pentru curentul de scurtcircuit.

**Memento**
Curenții de scurtcircuit conțin inițial o componentă de c.c., de mărime și durată care depinde de raportul $X_L/R$, corespunzător buclei de curent de defect.
Aproape de sursă (transformatorul MT/JT) relația $I_{vârf}/I_{ef}$ (a componentei de c.a.) în momentul imediat următor defectului, poate să ajungă la 2,5 (standardizat de CEI și arătat în **Fig. H16** pagina următoare). La nivelele inferioare ale distribuției, în cazul circuitelor periferice $X_L$ este mic în comparație cu R și astfel pentru circuitele finale, $I_{vârf}/I_{ef}$ = 1,41 condiție care corespunde cu **Fig. H15**.
Efectul de limitare a vârfului de curent apare numai când valoarea eficace prezumată a componentei de c.a. atinge un anumit nivel. De exemplu, în **Fig. H16**, siguranța de 100 A va limita vârful curentului de defect la o valoare de 2 kA **(a)**. Aceeași siguranță, pentru un curent prezumat efectiv de 20 kA va limita vârful de curent la 10 kA **(b)**. În acest caz particular, în lipsa limitării produse de siguranțe, vârful de curent ar fi atins 150 kA **(c)**. Așa cum s-a menționat deja, la nivelele inferioare ale distribuției, R este mult mai mare decât $X_L$ și nivelul curentului de defect este în general redus. Aceasta înseamnă că, curentul de defect poate să nu atingă valori suficient de mari pentru a se putea produce limitarea. Pe de altă parte, componenta de curent continuu tranzitorie (în acest caz) are un efect nesemnificativ asupra valorii de vârf a curentului, așa cum s-a menționat anterior.
**Notă:** asupra parametrilor nominali ai siguranței "gM"
O siguranță de tip "gM" este de fapt o siguranță de tip "gG" la care elementul fuzibil corespunde valorii de curent $I_{ch}$ (ch = caracteristic) care poate fi, de exemplu, 63 A. Aceasta este valoarea de test CEI, astfel încât caracteristica timp-curent să fie identică cu cea a siguranței "gG" de 63 A.
Această valoare (63 A) este adoptată pentru ca siguranța să reziste la curenții de pornire ai motorului, curentul de funcționare de regim permanent $I_n$ putând fi în valoare de 10 la 20 A.
Acesta înseamnă că soclul și părțile metalice aferente pot fi de gabarit redus, deoarece căldura disipată în funcționarea normală este mai mică.
O siguranță standard "gM" corespunzătoare pentru această situație va fi denumită 32M63 (adică $I_nMI_{ch}$).
Prima valoare de curent se referă la caracteristica de sarcină permanentă a siguranței fuzibile, în timp ce a doua valoare $I_{ch}$ se referă la caracteristica de curent de pornire (scurtă durată).

***(1)** Pentru curenți depășind un anumit nivel, în funcție de curentul nominal al siguranței, cum este arătat mai sus în **Fig. H15.***

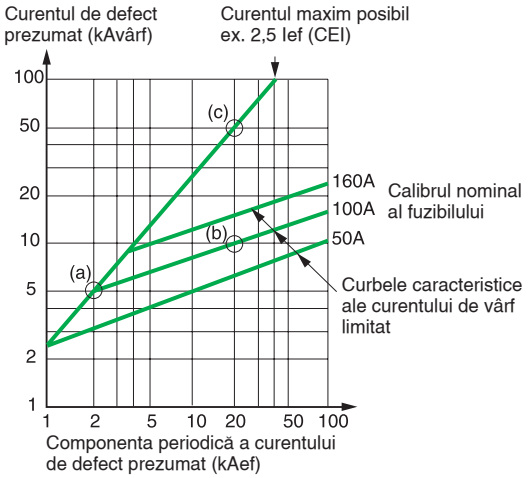



*Fig. H16: Curentul de vârf limitat în funcție de curentul eficace prezumat al componentei periodice a curentului de defect pentru fuzibile de joasă tensiune.*

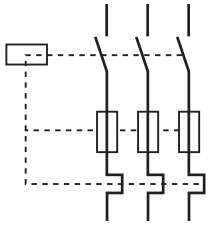


*Fig. H17: Simbol pentru combinație fuzibile și separator cu declanșare automată.*

*Fig. H18: Simbol pentru combinație fuzibile și separator fără declanșare automată.*

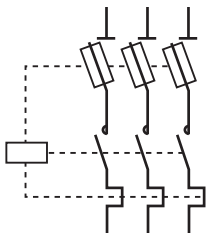


*Fig. H20: Simbol pentru combinație fuzibile și separator + discontactor.*

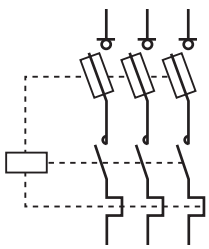


*Fig. H21: Simbol pentru combinație fuzibile și separator de sarcină + discontactor.*

În cazul folosirii siguranțelor “gM”, protecția la suprasarcină a motorului nu este realizată de siguranță și astfel totdeauna este necesară utilizarea unui releu termic separat. De aceea, singurul avantaj oferit de siguranțele “gM” față de siguranțele “aM” este reducerea dimensiunilor fizice și o ușoară reducere a costurilor aferente.

## 2.2 Dispozitive de comutație combinate

În general, dispozitivele de comutație nu pot realiza singure toate cerințele celor trei funcții de bază: protecție, comandă și separare.
Atunci când instalarea unui întreruptor automat nu este oportună (mai ales când frecvența de conectare este mare, pe perioade îndelungate) sunt utilizate combinații de dispozitive special proiectate pentru funcțiile respective.
Cele mai utilizate combinații sunt descrise mai jos.

### Asocieri separatoare și fuzibile

Se disting două cazuri:
■ Cazul în care arderea uneia sau multor siguranțe produce deschiderea aparatului de comutație adițional. Aceasta este realizată prin utilizarea siguranțelor dotate cu pini de percuție și un sistem de declanșare a aparatului de comutație adițional, dotat cu resoarte și mecanisme basculante (vezi **Fig. H17**).
■ Cazul în care un aparat de comutație neautomat este asociat cu un set de siguranțe într-o carcasă comună.
În anumite țări conform cu CEI 60947-3, termenii “switch-fuse” și “fuse-switch” au semnificații speciale, adică:
□ un “switch-fuse” cuprinde un aparat de comutație, de regulă un separator (în general două întreruperi pe pol) în partea din amonte are trei socluri de siguranțe fixe, în care sunt montate elementele de înlocuire (vezi **Fig. H18**).
□ un “fuse-switch” constă din trei lame (căi de curent) de siguranțe, fiecare realizând o dublă întrerupere pe fază.
Căile de curent nu sunt continue pe toată lungimea lor, fiecare având o porțiune în mijloc unde este montat elementul de înlocuire (cartușul fuzibil). Unele dispozitive au o singură separare pe fază, cum se arată în **Fig. H19**.

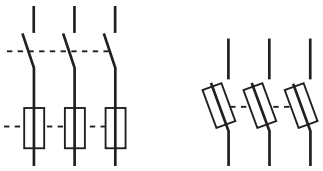


*Fig. H19: Simbol pentru fuzibile și separator fără declanșare automată.*

Domeniul de curent pentru aceste dispozitive este limitat la maximum 100 A, pentru tensiunea trifazată de 400 V, fiind utilizate în principal în instalații casnice sau similare. Pentru a evita confuzia între prima variantă (cu declanșare automată) și cea de a doua variantă, termenul “combinație fuzibile și separator” trebuie să fie completat cu “automat” sau “neautomat”.

**Separator combinat cu fuzibile + contactor dotat cu relee termice - separator de sarcină combinat cu fuzibile + contactor dotat cu relee termice**
Așa cum s-a menționat, un contactor dotat cu relee termice (discontactor) nu realizează protecția la scurtcircuit și de aceea este necesară prezența siguranțelor fuzibile de tip aM, pentru a realiza această funcție. Combinația este utilizată în principal pentru circuitele de comandă ale motoarelor unde separatorul sau separatorul de sarcină permite manevre, cum sunt:
■ schimbarea elementelor de înlocuire (cu circuitul deschis);
■ intervenția asupra circuitului din aval de contactorul dotat cu relee termice (există riscul închiderii acestuia prin comanda de la distanță).
Separatorul combinat cu fuzibile trebuie să fie interblocat cu contactorul cu relee. O manevră de deschidere sau închidere a separatorului combinat cu fuzibile trebuie să fie posibilă numai dacă contactorul este deschis (**Fig. H20**), deoarece separatorul combinat cu fuzibile nu are posibilitatea de a comuta sub sarcină. Un separator de sarcină combinat cu fuzibile nu necesită interblocare (**Fig. H21**). Aparatul de comutație trebuie să fie de clasă AC22 sau AC23 dacă circuitul alimentează un motor.

**Întreruptor automat + contactor-întreruptor automat + contactor cu relee termice**
Aceste combinații sunt utilizate în sistemele de distribuție comandate la distanță, la care numărul de acționări este mare sau pentru comanda și protecția circuitelor de alimentare a motoarelor.

# 3 Alegerea aparatelor de comutaţie

## 3.1 Tabel cu caracteristici funcţionale

După ce au fost studiate funcţiile de bază ale aparatelor de comutaţie de JT (paragraful 1, **Tab. H1**) şi diferitele componente ale acestora, (paragraful 2), **Tab. H22** prezintă posibilităţile diferitelor aparate de realizare a funcţiilor de bază.

| Aparat de comutaţie | Separare | Comandă | | | | Protecţie electrică | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Funcţională | De urgenţă | Oprire de urgenţă (mecanică) | Comutare ptr. mentenanţă mecanică | Suprasarcină | Scurtcircuit | Diferenţial |
| Separator (cu separ. vizibilă)(4) | ■ | | | | | | | |
| Separator de sarcină(5) | ■ | ■ | ■(1) | ■(1)(2) | ■ | | | |
| Dispozitiv de curent rezidual (RCD)(5) | ■ | ■ | ■(1) | ■(1)(2) | ■ | | | ■ |
| Separator de sarcină cu separare vizibilă | ■ | ■ | ■(1) | ■(1)(2) | ■ | | | |
| Contactor | | ■ | ■(1) | ■(1)(2) | ■ | ■(3) | | |
| Teleruptor | | ■ | ■(1) | | ■ | | | |
| Fuzibil | ■ | | | | | ■ | ■ | |
| Întreruptor automat(5) | | ■ | ■(1) | ■(1)(2) | ■ | ■ | ■ | |
| Întreruptor automat cu(5) separ. vizibilă | ■ | ■ | ■(1) | ■(1)(2) | ■ | ■ | ■ | |
| Întreruptor automat de supracurent şi rezidual(5) | ■ | ■ | ■(1) | ■(1)(2) | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Locul de instalare (principiu general) | Originea fiecărui circuit | Toate punctele unde din punct de vedere operaţional poate fi necesară oprirea procesului | În general pe circuitul de sosire al fiecărui tablou de distribuţie | La punctele de alimentare ale fiecărei maşini şi/sau la fiecare maşină implicată în proces | La punctele de alimentare ale fiecărei maşini | Originea fiecărui circuit | Originea fiecărui circuit | Originea circuit unde sistemul de tratare a neutrului este potrivit TN-S, IT, TT |

***(1)*** *Este realizată întreruperea tuturor conductoarele active.*
***(2)*** *Ar putea să fie necesară menţinerea alimentării sistemului de oprire.*
***(3)*** *Dacă este asociat cu un releu termic (combinaţia este de obicei numită "discontactor").*
***(4)*** *În anumite ţări, un separator cu contacte vizibile este montat obligatoriu la partea amonte a unei instalaţii de JT alimentată direct de la un transformator MT/JT.*
***(5)*** *Anumite tipuri de aparate de comutaţie, sunt corespunzătoare pentru funcţii de separare, (RCD conform CEI 61008) fără să se specifice explicit acest lucru.*

***Tab. H22:*** *Funcţiile îndeplinite de diverse tipuri de aparate de comutaţie.*

## 3.2 Selecţia aparatelor de comutaţie

Pentru o alegere optimă a aparatelor de comutaţie sunt utilizate din ce în ce mai mult pachete de programe de calcul (software). Fiecare circuit este analizat în mod separat şi este întocmită o listă a cerinţelor referitoare la funcţiile de protecţie şi de logistica de exploatare a instalaţiei, conform celor menţionate în tabelul **Tab. H22** şi rezumate în **Tab. H1**.
Sunt studiate un număr de combinaţii de aparate de comutaţie şi se fac comparaţii între diverse soluţii, cu scopul de a realiza:
- performanţe satisfăcătoare;
- compatibilităţi între elementele individuale, de la curentului nominal $I_n$ până la curentului de defect $I_{cu}$;
- compatibilitate cu aparatajul de comutaţie din amonte sau luarea în consideraţie a contribuţiei acestuia în procesele de comutaţie;
- conformitate cu toate reglementările şi specificaţiile în vigoare, privind funcţionarea sigură şi fiabilă a circuitului respectiv.

Pentru a determina numărul de poli ai unui tip de aparat de comutaţie facem referire la capitolul G, paragraful 7, **Fig. G64**. Aparatele de comutaţie multifuncţionale, iniţial mai costisitoare, reduc costurile aferente instalaţiei şi problemele de montaj sau de exploatare. Adesea se constantă că astfel de aparate de comutaţie constituie cea mai bună soluţie tehnico-economică.

# 4 Întreruptoare automate

*Întreruptoarele automate care asigură separarea îndeplinesc toate funcțiile de bază ale aparatelor de comutație; în același timp, prin intermediul accesoriilor aferente, sunt create alte numeroase posibilități funcționale.*

Așa cum se arată în **Tab. H23** un întreruptor automat cu aptitudine de separare este sigurul tip de aparat de comutație capabil să satisfacă simultan toate funcțiile necesare într-o instalație electrică.
În plus, acesta poate să realizeze o gamă largă de alte funcții, prin intermediul unor elemente auxiliare, de exemplu: semnalizare (închidere/deschidere, declanșare pe defect), declanșare la tensiune minimă, comandă la distanță, etc.
Aceste caracteristici fac din întreruptorul automat cu aptitudine de separare tipul de aparat de comutație de bază pentru orice instalație electrică.

| Funcțiuni | | Condiții posibile |
|---|---|---|
| Separare | | ■ |
| Comandă | Funcțional | ■ |
| | Comandă de urgență | ■ (cu utilizarea unei bobine de declanșare) |
| | Comutație pentru mentenanță mecanică | ■ |
| Protecție | Suprasarcină | ■ |
| | Scurtcircuit | ■ |
| | Defect de izolație | ■ (cu releu de curent diferențial) |
| | Minimă tensiune | ■ (cu bobină de minimă tensiune) |
| Comandă la distanță | | ■ (adaugată separat sau încorporată) |
| Indicații și măsurători | | ■ (opțiune generală pentru declanșator electronic) |

***Tab. H23:*** *Funcțiile unui întreruptor automat cu aptitudine de separare.*

*Întreruptoarele automate industriale trebuie să fie conforme cu recomandările CEI 60947-1 și 60947-2, sau ale altor standarde echivalente. Tipurile de întreruptoare automate casnice trebuie să se conformeze standardului CEI 60898 sau standardului național echivalent.*

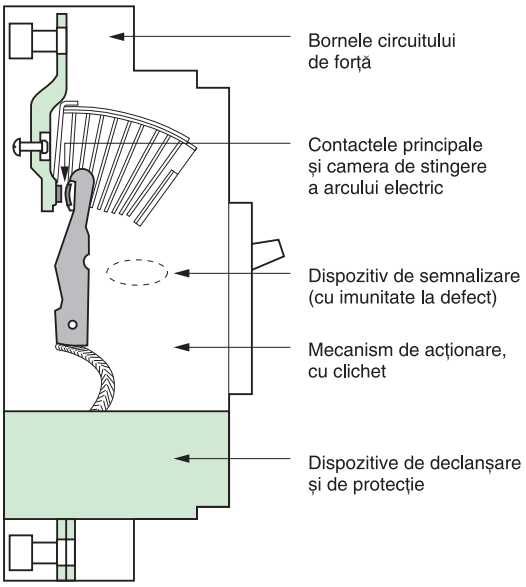

Bornele circuitului de forță
Contactele principale și camera de stingere a arcului electric
Dispozitiv de semnalizare (cu imunitate la defect)
Mecanism de acționare, cu clichet
Dispozitive de declanșare și de protecție

***Fig. H24:*** *Părțile principale ale unui întreruptor automat.*

## 4.1 Standarde și descriere

### Standarde

Pentru instalații de JT de tip industrial, standardele CEI relevante sunt următoarele:
■ 60947-1: reguli generale;
■ 60947-2: partea a 2-a: întreruptoare de putere;
■ 60947-3: partea a 3-a: comutatoare, separatoare, separatoare de sarcină, aparate de comutație combinate cu siguranțe fuzibile;
■ 60947-4: partea a 4-a: contactoare și startere pentru motoare;
■ 60947-5: partea a 5-a: dispozitive de comandă a circuitelor și elementelor de comutație;
■ 60947-6: partea a 6-a: dispozitive cu funcții multiple de comutație;
■ 60947-7: partea a 7-a: echipament auxiliar.
Pentru instalații de JT casnice și similare, standardul corespunzător este CEI 60898 și/sau alte standarde naționale echivalente.

### Descriere

**Figura H24** prezintă schematic părțile principale ale întreruptorului automat de JT și funcțiile aferente:
■ componentele de comutație, conținând contactele fixe și mobile și camera de stingere a arcului electric;
■ mecanismul întreruptorului, care deschide piesele de contact prin intermediul dispozitivului de declanșare la aparitia unui supracurent. Acest mecanism cuprinde și pârghia (maneta) de acționare manuală;
■ un dispozitiv de declanșare, care cuprinde:
☐ un dispozitiv termic și magnetic în care o lamă bimetalică, acționată termic, detectează o situație de suprasarcină, în timp ce declanșatorul electromagnetic acționează la nivele de curent corespunzătoare unui regim de scurtcircuit, sau
☐ un releu electronic ce primește informații de la transformatorii de curent instalați câte unul pe fiecare fază;
■ un spațiu de conectare, unde se pot monta diferite tipuri de borne, pentru conectarea conductoarelor aferente circuitului de forță.
Întreruptoarele automate pentru uz casnic (vezi **Fig. H25**, pagina următoare), conforme cu CEI 60898 sau alte standarde naționale echivalente îndeplinesc funcțiile de bază de:
■ separare;
■ protecție împotriva supracurentului.

# 4 Întreruptoare automate

*Fig. H25: Întreruptoarele automate pentru uz casnic protejază la supracurent și au aptitudini de separare.*

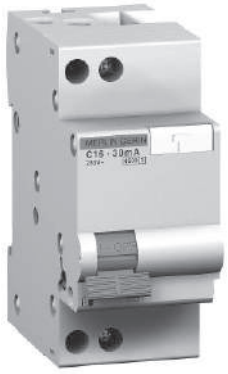


*Fig. H26: În plus față de întreruptorul automat de mai sus (din **Fig. H25**) acesta oferă protecție diferențială.*



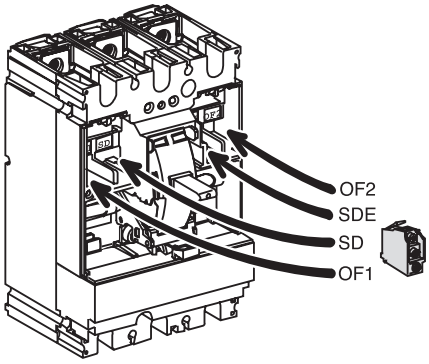



*Fig. H28: Exemplu de întreruptor automat de tip industrial (Compact NS) capabil să îndeplinească numeroase funcții auxiliare.*

Anumite modele au fost concepute pentru a oferi protecție diferențială (30 mA) prin adăugarea unui bloc modular, în timp ce alte modele (RCBO conform CEI 61009 și CBR conform CEI 60947-2, Anexa B) au anexa diferențială încorporată (vezi **Fig. H26**).
În afară de funcțiile mai sus menționate și alte funcții pot fi asociate ulterior unui întreruptor automat prin module adiționale, așa cum este arătat în **Fig. H27**, în special comanda de la distanță și indicarea poziției (închis-deschis-declanșat pe defect).

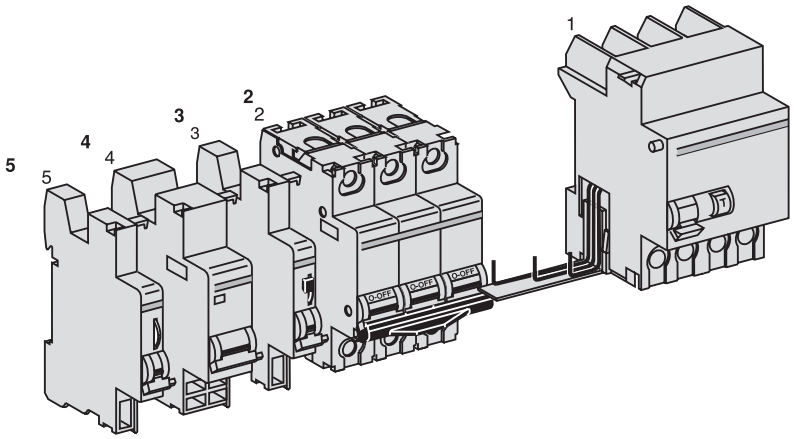



*Fig. H27: Sistemul Multi 9 de aparataj modular de comutație de JT.*

Întreruptoarele automate de JT în carcasă turnată, conforme cu CEI 60947-2, realizează prin intermediul blocurilor auxiliare adaptabile o gamă de funcții auxiliare similare celor descrise mai sus (vezi **Fig. H28**).
Întreruptoarele automate industriale de regim greu, conforme cu CEI 60947-2, au încorporate numeroase funcții electronice și de comunicare (vezi **Fig. H29**).
Adițional funcțiilor de protecție, unitățile Micrologic aduc și funcții de optimizare (inclusiv de calitatea energiei), de diagnoză, de comunicare, de monitorizare și telecomandă.

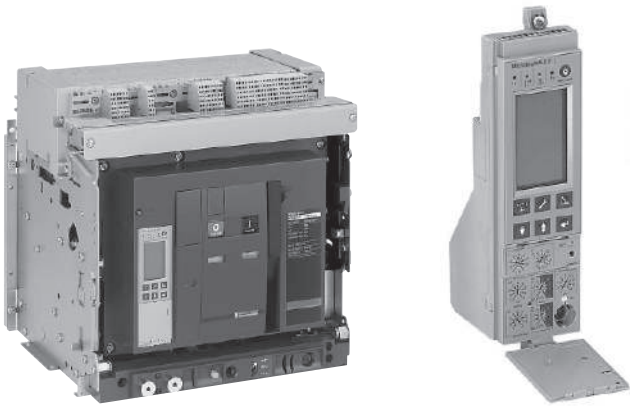


*Fig. H29: Exemplu de întreruptor automat industrial de regim greu. Masterpact-ul oferă numeroase funcții încorporate în declanșatorul sau Micrologic.*

## 4.2 Caracteristici fundamentale ale unui întreruptor automat

Parametrii fundamentali ai unui întreruptor automat sunt:
- tensiunea nominală $U_e$;
- curentul nominal $I_n$;
- domeniul de reglaj al curentului de declanșare, pentru protecția la suprasarcină ($I_r$[(1)] sau $I_{rth}$[(1)]) și pentru protecție la scurtcircuit ($I_m$)[(1)];
- capacitatea de deconectare ($I_{cu}$ pentru întreruptoarele automate de tip industrial; $I_{cn}$ pentru cele de tip casnic).

### Tensiunea nominală (de funcționare) ($U_e$)

Aceasta este tensiunea la care întreruptorul automat a fost proiectat să funcționeze în condiții normale.
Alte valori de tensiune sunt asociate întreruptorului automat corespunzătoare altor condiții întâlnite în exploatare, așa cum se arată în subparagraful 4.3

### Curentul nominal ($I_n$)

Aceasta este valoarea maximă a curentului, la care întreruptorul automat dotat cu un anumit tip de releu de protecție la supracurent poate să funcționeze indefinit, la o temperatură ambiantă specificată de fabricant, fără să fie depășite limitele de temperatură specifice pentru căile de curent.

**Exemplu**
Un întreruptor automat, având curentul nominal $I_n$ = 125 A pentru temperatura ambiantă de 40° C, va fi echipat cu un releu de protecție la supracurent calibrat în mod corespunzător (la 125 A). Același întreruptor automat poate fi utilizat la valori mai mari ale temperaturii ambiante dacă reglajul este modificat în mod corespunzător. Astfel, la o temperatură ambiantă de 50° C, întreruptorul automat poate să funcționeze în regim de durată numai la 117 A, (sau numai la 109 A, pentru 60° C), pentru a se conforma limitei de temperatură specificate.
Ajustarea reglajului unui întreruptor automat este realizată prin reducerea valorii curentului de declanșare aferent releului de suprasarcină, fapt atestat printr-un marcaj corespunzător, aferent întreruptorului. Utilizarea unui modul de declanșare de tip electronic, proiectat să funcționeze la temperaturi ridicate, permite întreruptoarelor automate să funcționeze la o temperatură ambiantă de 60° C (sau chiar la 70° C).
**Notă:** curentul $I_n$ pentru întreruptoare automate (conform CEI 60947-2) este egal cu $I_u$ pentru aparatele de comutație în general, unde $I_u$ este curentul nominal, de regim permanent.

### Parametrii nominali în cazul modulelor cu domenii multiple

Un întreruptor automat, care poate fi dotat cu module diferite de protecție la supracurent, având diferite domenii de reglaj ale curentului de declanșare este considerat ca având curentul nominal egal cu cea mai mare valoare a curentului de reglaj, aferentă tuturor tipurilor de relee de protecție cu care acesta poate fi echipat.

**Exemplu**
Un întreruptor automat NS630N poate fi echipat cu 4 declanșatoare electronice de la 150 la 630 A. Calibrul întreruptorului automat este de 630 A.

### Curentul reglat al releului de suprasarcină ($I_{rth}$ sau $I_n$)

În afară de întreruptoarele automate de curenți mici, care sunt foarte ușor de înlocuit, întreruptoarele automate industriale de putere sunt echipate cu relee de protecție la supracurent demontabile sau interșanjabile.
În acest sens, pentru a adapta întreruptoarele automate la cerințele circuitului comandat și pentru a evita necesitatea instalării de cabluri supradimensionate, releele de protecție sunt, în general, reglabile. Curentul reglat de declanșare, $I_n$ sau $I_{rth}$ (sunt utilizate ambele notații) reprezintă valoarea curentului peste care întreruptorul automat va declanșa. Acesta reprezintă de asemenea, curentul maxim pe care întreruptorul automat poate să-l suporte, fără declanșare. Această valoare trebuie să fie mai mare decât curentul maxim de sarcină $I_{smax}$, dar mai redusă decât curentul maxim admisibil al circuitului, $I_z$ (vezi capitolul G, subparagraful 1.3).
Releele de protecție de tip “termic” sunt în general reglabile de la 0,7 la 1,0$I_n$. În cazul în care sunt utilizate dispozitive electronice pentru aceste funcții, intervalul de reglaj este mai mare; tipic în 0,4 și 1,0$I_n$.

**Exemplu** (vezi **Fig. H30**):
Un întreruptor automat NS630N echipat cu un releu de protecție la supracurent STR23SE de 400 A reglat la 0,9 va avea curentul reglat de declanșare:
$I_r$ = 400 x 0,9 = 360 A.
**Notă**: pentru întreruptoarele automate echipate cu relee de protecție la supracurent, nereglabile $I_r = I_n$. Exemplu pentru întreruptorul automat C60N, 20A, $I_r = I_n$ = 20A.

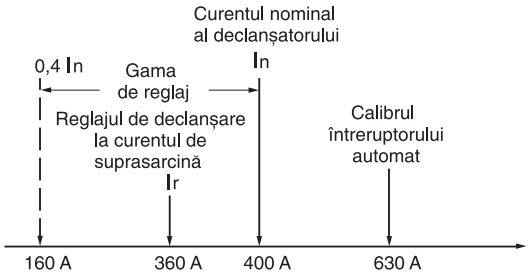



*Fig. H30: Exemplu de întreruptor automat Compact NS630N echipat cu declanșator STR23SE reglat la 0,9 pentru a avea $I_r$ = 360 A.*

*(1) Reglajul valorilor de curent se referă la declanșarea termică, la suprasarcină și magnetică, la scurtcircuit.*

## Reglajul curentului de declanșare al releului de scurtcircuit ($I_m$)

Releele de declanșare la scurtcircuit (instantanee sau cu temporizare de scurtă durată) sunt destinate să declanșeze rapid întreruptorul automat la apariția curenților de defect de valoare ridicată.
Valorile treptelor de declașare $I_m$ sunt:
- fie stabilite de standarde pentru tipurile casnice de întreruptoarele automate, exemplu CEI 60898, sau
- indicate de fabricant pentru întreruptoarele automate de tip industrial, corespunzător standardelor, în special CEI 60947-2.

În cazul întreruptoarelor automate de tip industrial moderne, există o mare varietate de dispozitive de declanșare care permit utilizatorului să adapteze caracteristicile de protecție ale întreruptorului automat la cerințele specifice consumatorilor (vezi **Tab. H31**, **Fig. H32**, și **Fig. H33**).

| | Tipul releului de protecție | Protecția la suprasarcină | Protecția la scurtcircuit | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Întreruptoare automate de uz casnic CEI 60898 | Magneto-termic | $I_r = I_n$ | Reglaj jos<br>tip B<br>$3\ I_n \leqslant I_m \leqslant 5\ I_n$ | Reglaj standard<br>tip C<br>$5\ I_n \leqslant I_m \leqslant 10\ I_n$ | Reglaj sus<br>tip D<br>$10\ I_n \leqslant I_m \leqslant 20\ I_n$ (1) |
| Întreruptoare automate modulare industriale (2) | Magneto-termic | $I_r = I_n$ fixă | Reglaj jos<br>tip B sau Z<br>$3{,}2\ I_n \leqslant fix \leqslant 4{,}8\ I_n$ | Reglaj standard<br>tip C<br>$7\ I_n \leqslant fix \leqslant 10\ I_n$ | Reglaj sus<br>tip D sau K<br>$10\ I_n \leqslant fix \leqslant 14\ I_n$ |
| Întreruptoare automate industriale (2) CEI 60947-2 | Magneto-termic | $I_r = I_n$ fix | Fixă: $I_m = 7$ la $10\ I_n$ | | |
| | | Ajustabilă:<br>$0{,}7\ I_n \leqslant I_r \leqslant I_n$ | Ajustabilă:<br>- Reglaj jos: 2 la 5 $I_n$<br>- Reglaj standard: 5 la 10 $I_n$ | | |
| | Electronic | Temporizată<br>$0{,}4\ I_n \leqslant I_r \leqslant I_n$ | Temporizată, ajustabilă<br>$1{,}5\ Ir \leqslant I_m \leqslant 10\ Ir$<br>Instantanee fixă<br>$I = 12$ la $15\ I_n$ | | |

***(1)*** *50 $I_n$ în CEI 60898, ceea ce este considerată nerealistă de majoritatea fabricanților europeni (Merlin Gerin: 10 la 14 $I_n$).*
***(2)*** *Pentru uz industrial, standardul CEI nu specifică valori. Valorile date în tabel sunt cele de uz curent.*

*Tab. H31: Gamele de declanșare la suprasarcină și scurtcircuit pentru întreruptoarele automate de joasă tensiune.*



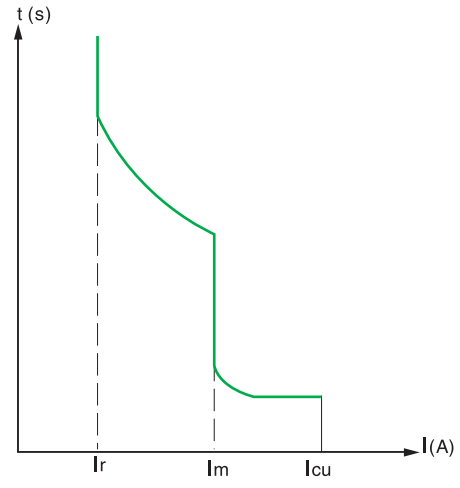
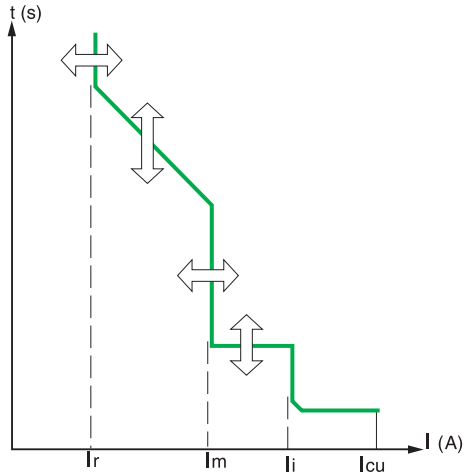


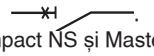

*Fig. H32: Curba de declanșare a unui întreruptor automat cu declanșator magneto-termic.*




$I_r$: Reglaj la suprasarcină temporizat
$I_m$: Reglaj la scurtcircuit temporizat
$I_i$: Reglaj la scurtcircuit instantaneu
$I_{cu}$: Capacitatea de rupere

*Fig. H33: Curba de declanșare a unui întreruptor automat cu declanșator electronic.*

## Caracteristici de separare (izolare)

Un întreruptor automat este capabil să separe un circuit dacă el îndeplinește condițiile impuse unui separator (la tensiunea sa nominală) corespunzătoare standardelor (vezi subparagraful 1.2). În acest caz este denumit întreruptor-separator (cu aptitudine de separare) și marcat cu simbolul  .
Toate aparatele de comutație de JT: Multi9, Compact NS și Masterpact, produse sub marca Merlin Gerin, se încadrează in această categorie.

*Capacitatea de deconectare (rupere) la scurtcircuit a întreruptoarelor automate de JT depinde de valoarea factorului de putere cos φ aferent buclei de curent de defect. Valorile standard pentru aceste relații au fost stabilte în anumite standarde.*

## Capacitatea de deconectare la scurtcircuit ($I_{cu}$ sau $I_{cn}$)

Capacitatea de deconectare (nominală) la scurtcircuit a unui întreruptor automat de putere, este cea mai mare valoare (prezumată) a curentului, pe care acesta este capabil să-l întrerupă, fără a suferi deteriorări semnificative.
Valoarea de curent, specificată în standarde, este valoarea eficace a componentei de c.a. a curentului de defect, adică se consideră componenta de c.c. tranzitorie (care este totdeauna prezentă în cazurile cele mai defavorabile de scurtcircuit) ca fiind nulă. Această valoare nominală ($I_{cu}$) pentru întreruptoarele automate de tip industrial și ($I_{cn}$) pentru cele de tip casnic, este de obicei dată în kA valoare eficace.
$I_{cu}$ (capacitatea de deconectare "limită" sau "ultimă", care implică cea mai mare valoare pentru curentul de întrerupt, în cadrul ciclului de încercare la scurtcircuit) și $I_{cs}$ (capacitatea de deconectare, de serviciu, care implică o anumită valoare de curent, în ciclul de încercare la scurtcircuit) sunt definite în CEI 60947-2, împreună cu un tabel care indică relația între $I_{cs}$ și $I_{cu}$ pentru diferite categorii de utilizare A (declanșare instantanee) și B (declanșare temporizată) așa cum se arată în subparagraful 4.3.
Încercările de laborator pentru stabilirea capacității de rupere a întreruptoarelor automate, sunt guvernate de standarde specifice care includ:
- secvențe de operare, cuprinzând o succesiune de manevre de închidere și deschidere, în regim de scurtcircuit
- defazajul între curent și tensiune. Atunci când curentul este în fază cu tensiunea de alimentare (cos φ = 1) întreruperea curentului este mai ușoară, decât pentru alte valori ale factorului de putere. Deconectarea unui curent la valori reduse ale cos φ este mult mai dificil de realizat; un factor de putere egal cu zero fiind (teoretic) situația cea mai defavorabilă.

În practică, toți curenții de defect de scurtcircuit din sistemele de distribuție, au factori de putere subunitari. Ca urmare, standardele sunt bazate pe valori considerate ca fiind reprezentative pentru majoritatea sistemelor de distribuție. În general, cu cât nivelul curentului de defect este mai mare pentru o anumită tensiune de alimentare, cu atât este mai scăzută valoarea factorului de putere corespunzător buclei de defect (de exemplu, aproape de generatoare sau de transformatoare de mare putere).
**Tabelul H34**, de mai jos, extras din CEI 60947-2 face legătura între valorile standardizate ale factorului de putere cos φ și curentul $I_{cu}$ corespunzător pentru întreruptoarele automate de tip industrial.
- pentru determinarea capacității de deconectare $I_{cu}$ a întreruptorului automat (prin realizarea unui secvențe deschidere-pauză-închidere-deschidere) sunt necesare teste relativ la următoarele elemente:
  - ☐ tensiunea de ținere dielectrică,
  - ☐ performanțele de separare,
  - ☐ funcționarea corectă a protecției la suprasarcină.

Este necesar ca secvența de încercare precedentă să nu afecteze comportarea întreruptorului automat din punct de vedere al performanțelor de comutație.

| $I_{cu}$ | cos φ |
|---|---|
| 6 kA < $I_{cu}$ ⩽ 10 kA | 0,5 |
| 10 kA < $I_{cu}$ ⩽ 20 kA | 0,3 |
| 20 kA < $I_{cu}$ ⩽ 50 kA | 0,25 |
| 50 kA < $I_{cu}$ | 0,2 |

***Tab. H34:*** *Curentul $I_{cu}$ corespunzător factorului de putere cos φ al rețelei cu scurtcircuit (CEI 60947-2).*

*Următoarele caracteristici, mai puțin importante, ale unui întreruptor automat de JT sunt deseori luate în calcul atunci când se face alegerea finală a acestuia.*

# 4.3 Alte caracteristici ale unui întreruptor automat

## Tensiunea nominală de izolație ($U_i$)

Aceasta este valoarea de tensiune la care se efectuează testele de rigiditate dielectrică (în general mai mari decât $2U_i$) și pentru care sunt definite distanțele de străpungere și conturnare. Valoarea maximă a tensiunii nominale de funcționare nu trebuie să depășească tensiunea nominală de izolație, adică $U_e \leqslant U_i$.

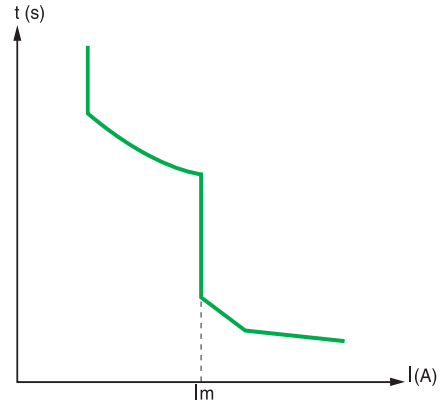



*Fig. H35: Întreruptor automat categoria A.*

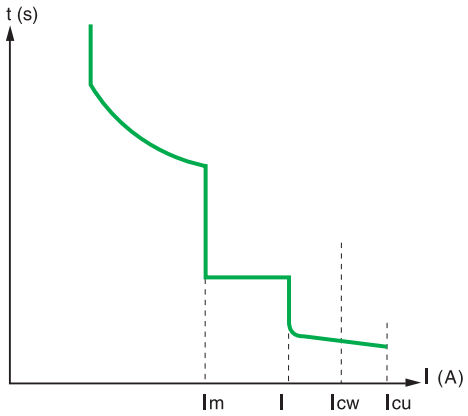



*Fig. H36: Întreruptor automat categoria B,*

*Într-o instalație proiectată corect un întreruptor automat nu va fi niciodată în situația de a funcționa la curentul maxim de deconectare, $I_{cu}$. Din acest motiv, a fost introdus un nou parametru și anume, $I_{cs}$. Valoarea acestuia este definită în CEI 60947-2 ca fiind procent din $I_{cu}$ (25, 50, 75 și 100%).*

## Tensiunea nominală de ținere la impuls ($U_{imp}$)

Această caracteristică indică valoarea de vârf ($kV_{max}$) a tensiunii de impuls (de o anumită formă și polaritate) pe care echipamentul este capabil să o suporte în condiții de test, fără a se defecta, și la care se raportează valorile distanțelor de izolare.
În general pentru întreruptoare automate industriale $U_{imp}$ = 8 kV și pentru cele domestice $U_{imp}$ = 6kV.

## Categoriile de întreruptoare automate (A sau B) și curentul nominal admisibil de scurtă durată ($I_{cw}$)

Așa cum s-a menționat anterior (în subparagraful 4.2) există două categorii de aparate de comutație de tip industrial, de JT, și anume A și B conform CEI 60947-2:
- aparate din categoria A, la care nu există nici o întârziere deliberată în acțiunea dispozitivelor de declanșare electromagnetică la scurtcircuit (vezi **Fig. H35**). Acestea sunt în general întreruptoare automate cu carcasă turnată, și
- aparate din categoria B, pentru care, în scopul de a realiza o coordonare cu celelalte întreruptoare în sensul selectivității protecției, este posibilă declanșarea temporizată. Aceasta este posibil numai dacă nivelul curentului de defect este mai scăzut decât curentul nominal admisibil de scurtă durată ($I_{cw}$) aferent întreruptorului automat respectiv (vezi **Fig. H36**). Acest mod de funcționare este în general utilizat în cazul întreruptoarelor aferente puterilor celor mai mari cu camere de rupere în aer și la anumite tipuri de întreruptoare de mare putere, cu carcasă turnată. $I_{cw}$ este curentul maxim pe care întreruptoarele automate din categoria B, pot să-l suporte din punct de vedere termic și electrodinamic, un interval de timp indicat de fabricant, fără deteriorări semnificative.

## Curentul maxim de conectare (închidere pe scurtcircuit - $I_{cm}$)

$I_{cm}$ este cea mai mare valoare instantanee a curentului, pe care un întreruptor automat poate să-l conecteze, în condiții specifice, la tensiunea nominală. În rețelele de c.a., această valoare instantanee de vârf, este corelată cu $I_{cu}$ (curentul de deconectare) prin coeficientul k. Acesta depinde de factorul de putere (cos φ) al buclei aferente curentului de scurtcircuit (așa cum se arată în **Tab. H37**).

| $I_{cm}$ | cos φ | $I_{cm} = k I_{cu}$ |
|---|---|---|
| 6 kA < $I_{cu}$ ⩽ 10 kA | 0,5 | 1,7 x $I_{cu}$ |
| 10 kA < $I_{cu}$ ⩽ 20 kA | 0,3 | 2 x $I_{cu}$ |
| 20 kA < $I_{cu}$ ⩽ 50 kA | 0,25 | 2,1 x $I_{cu}$ |
| 50 kA ⩽ $I_{cu}$ | 0,2 | 2,2 x $I_{cu}$ |

*Tab. H37: Relația între capacitatea de rupere nominală $I_{cu}$ și capacitatea de închidere nominală $I_{cm}$ la diferite valori ale factorului de putere al curentului de scurtcircuit, așa cum este standardizată în CEI 60947-2.*

**Exemplu:** Un Masterpact NW08H2 are o capacitate de deconectare $I_{cu}$ în valoare de 100 kA. Capacitatea acestuia de conectare de vârf $I_{cm}$ va fi 100 x 2,2 = 220 ($kA_{max}$).

## Capacitatea de rupere de serviciu la scurtcircuit ($I_{cs}$)

Capacitatea nominală de rupere limită la scurtcircuit ($I_{cu}$) sau capacitatea nominală de închidere la scurtcircuit ($I_{cm}$) este curentul de defect maxim pe care întreruptorul automat poate să-l întrerupă fără să fie afectat în mod semnificativ. Probabilitatea de apariție a unui astfel de curent este foarte scăzută și în circumstanțe normale curenții de defect sunt considerabil mai scăzuți decât capacitatea de rupere "limită" $I_{cu}$ a întreruptorului. Pe de altă parte este important ca acești curenți (cu probabilitate scăzută) să fie întrerupți în condiții bune astfel încât întreruptorul să fie imediat disponibil pentru reînchidere, după ce circuitul defect a fost remediat. Din aceste motive, a fost creat un nou parametru $I_{cs}$ exprimat în procente din $I_{cu}$ (25, 50, 75 și 100% pentru întreruptoarele automate industriale).
Secvența standard de încercare la scurtcircuit este următoarea:
- O - CO - CO[(1)] (la $I_{cs}$);

Testele realizate conform acestei secvențe sunt destinate să verifice dacă întreruptorul este în stare bună și disponibil unei funcționări normale.
Pentru întreruptoarele automate de tip casnic $I_{cs}$ = k x $I_{cn}$. Valorile coeficientului k sunt date în CEI 60898 tabelul XIV. În Europa, practica industrială utilizează un coeficient k de 100%, astfel încât $I_{cs}$ = $I_{cu}$.

***(1)** "O" reprezintă operația de deschidere. "CO" reprezintă operația de închidere urmată de deschidere.*

*Multe modele de întreruptoare automate de JT sunt caracterizate printr-o capacitate de limitare a curentului de scurtcircuit, mijloc prin care acesta este redus și este prevenită atingerea valorii de vârf maxime a curentului prezumat (**Fig. H38**). Performanțele de limitare a curentului ale acestor întreruptoare automate sunt prezentate în forma grafică în **Fig. H39**, diagrama **(a)**.*

## Limitarea curentului de scurtcircuit

Capacitatea de limitare a curentului de scurtcircuit aferentă unui întreruptor automat constă în abilitatea de a preveni atingerea curentului de defect prezumat maxim, permițând numai trecerea unui curent limitat, așa cum se arată în **Fig. H38**. Caracteristicile de limitare a curentului sunt date de producător sub formă de diagrame specifice (**Fig. H39, a** și **b**).

- diagrama **(a)** arată dependența valorii de vârf a curentului limitat față de valoarea componentei de c.a. a curentului de defect prezumat (curentul prezumat este curentul de defect care ar trece prin întreruptorul automat dacă nu s-ar realiza limitarea curentului);
- limitarea de curent reduce semnificativ solicitările termice (proporționale cu $I^2t$) această dependență fiind arătată în diagrama **(b)** a **Fig. H39**. Aceste diagrame au în abscisă valoarea eficace a componentei de c.a. a curentului de defect prezumat.

Întreruptoarele automate pentru instalații casnice și similare sunt clasificate în anumite standarde (mai ales standardul european EN 60898). Ca urmare, întreruptoarele automate aparținând unei clase (de limitatoare de curent) au caracteristici de limitare standard, definite de clasa respectivă. În aceste cazuri fabricanții, de obicei, nu furnizează curbe de performanță caracteristice.

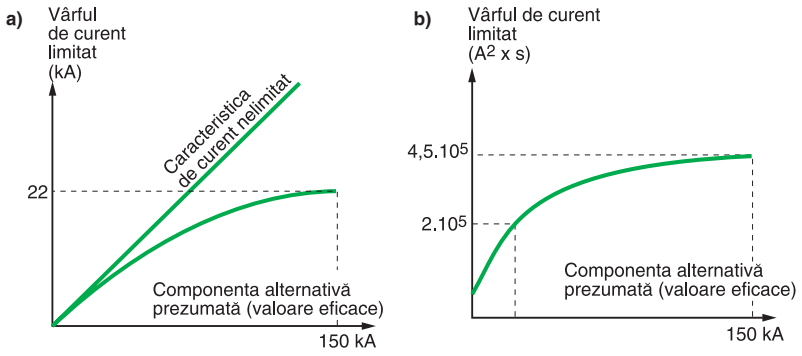



*Fig. H39: Curbele de performanță ale unui întreruptor automat de JT tipic.*

*Limitarea de curent reduce eforturile termice și electrodinamice în toate elementele de circuit parcurse de curent, prelungind semnificativ durata de viață a acestor elemente. Mai mult, proprietatea de limitare permite utilizarea tehnicilor "de filiație" (vezi 4.5), reducând semnificativ costurile proiectării și instalării unor circuite electrice.*

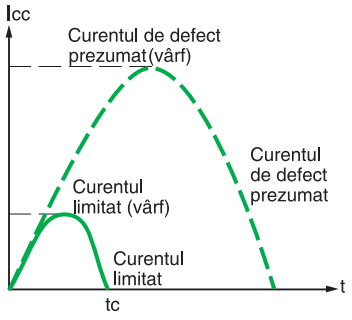



*Fig. H38: Curenți prezumați și reali.*

## Avantajele limitării de curent

Utilizarea întreruptoarelor automate limitatoare de curent aduce numeroase avantaje:

- o mai bună conservare a circuitelor instalației: întreruptoarele limitatoare de curent atenuează puternic toate efectele nocive asociate curenților de scurtcircuit;
- reducerea efectelor termice: încălzirea conductoarelor (și implicit a instalației) este semnificativ redusă, astfel încât durata de viață a cablurilor crește corespunzător;
- reducerea efectelor electrodinamice (mecanice): forțele datorate respingerii electrodinamice sunt mai reduse, cu risc mai mic de deformare și posibilă rupere, uzură excesivă a contactelor, etc.;
- reducerea efectelor de influență electromagnetică:
  - ☐ influență mai redusă asupra instrumentelor de măsură și circuitelor asociate, sistemelor de telecomunicații, etc.

Ca urmare, întreruptoarele limitatoare contribuie la o exploatare optimă a:

- cablurilor și circuitelor electrice;
- sistemelor de bare colectoare;
- aparatelor de comutație, reducând semnificativ îmbătrânirea izolației.

**Exemplu**

Într-un sistem având curentul de scurtcircuit prezumat de 150 $kA_{ef}$, un întreruptor automat Compact L limitează curentul de vârf la mai puțin de 10% din valoarea de vârf prezumată și efectul termic (integrala Joule) la mai puțin de 1% din valoarea calculată.

Utilizarea tehnicii filiației cu ajutorul unor întreruptoare limitatoare pe mai multe nivele de distribuție poate determina realizarea unor importante economii.

Tehnica filiației, descrisă în subcapitolul 4.5, permite realizarea de economii substanțiale din punctul de vedere al aparatajului de comutație (întreruptoarele din aval de cele limitatoare vor putea avea performanțe mai reduse). Economiile care se fac la costul tablourilor de distribuție din faza de proiectare pot atinge, global, valoarea de 20%.

Schemele de protecție selectivă și schemele utilizând tehnica filiației sunt compatibile pentru întreruptoarele automate Compact NS, până la capacitatea de deconectare maximă a acestora.

*Alegerea unei anumite clase de întreruptoare automate este determinată de: caracteristicile electrice ale instalaţiei, mediul înconjurător, sarcinile şi necesităţile de comandă la distanţă, împreună cu tipul de sistem de telecomunicaţii utilizat.*

## 4.4 Selecţia unui întreruptor automat

### Alegerea unui întreruptor automat

Alegerea unui întreruptor automat se realizează în funcţie de:
- caracteristicile electrice ale instalaţiei pentru care este destinat;
- mediul înconjurător: temperatură ambiantă, amplasare în interiorul unui panou sau într-un tablou de distribuţie, condiţii climatice, etc.;
- cerinţele de deconectare a curentului de scurtcircuit şi de conectare pe scurtcircuit;
- specificaţii funcţionale: declanşare selectivă, cerinţe de comandă la distanţă şi semnalizare, prezenţa contactelor auxiliare, bobine auxiliare de declanşare, integrarea într-o reţea locală (de comunicare, comandă şi semnalizare);
- regulamente de exploatare aferente instalaţiei, în particular protecţia persoanelor;
- parametrii şi caracteristicile consumatorilor: motoare, iluminat fluorescent, transformatoare JT/JT etc.

Următoarele paragrafe se referă la alegerea unui întreruptor automat de JT, destinat utilizării în sistemele de distribuţie.

### Alegerea curentului nominal în funcţie de temperatura ambiantă

Curentul nominal al unui întreruptor automat este definit pentru funcţionarea la o temperatură ambiantă specificată, în general:
- 30° C pentru întreruptoarele automate de tip casnic;
- 40° C pentru întreruptoarele automate de tip industrial.

Performanţele întreruptoarelor automate la diferite temperaturi ambiante, depind în principal de tehnologie şi de unităţile lor de declanşare (vezi **Fig. H40**).

*Întreruptoarele automate cu dispozitive de declanşare termice necompensate au nivelul de curent de declanşare dependent de temperatura mediului ambiant.*

### Declanşatoare termice şi electromagnetice necompensate

Întreruptoarele automate cu declanşatoare termice necompensate au mărimea curentului de declanşare dependentă de temperatura mediului ambiant. Dacă întreruptorul automat este instalat într-o incintă sau într-un loc încălzit (cameră încălzită, etc.) curentul necesar pentru declanşare la suprasarcină va fi mult mai redus. Când temperatura mediului în care este amplasat întreruptorul automat depăşeşte temperatura de referinţă, reglajul acestuia trebuie corectat.
Din acest motiv, fabricanţii de întreruptoare automate furnizează tabele care indică factorii de corecţie pentru temperaturi diferite faţă de temperatura de referinţă a întreruptorului automat. Din aceste tabele, se poate observa (vezi **Tab. H41**) că la temperaturi mai joase decât valoarea de referinţă, are loc o mărire virtuală a parametrilor nominali ai întreruptorului automat. În plus, reperele modulare de întreruptoare automate de curenţi mici, montate prin juxtapunere (aşa cum se arată în **Fig. H27**) sunt de obicei plasate într-o carcasă metalică, închisă. În aceste situaţii încălzirea reciprocă, produsă de curenţii de sarcină normali, necesită aplicarea unui coeficient de corecţie de 0,8.

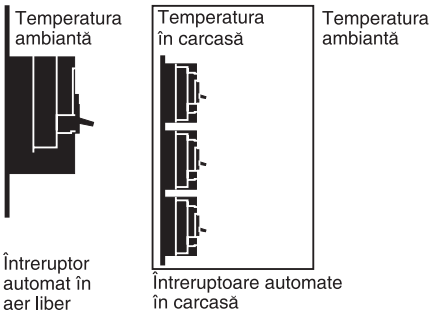



***Fig. H40:*** *Temperatura ambiantă.*

**C60a, C60H: curbă C, C60N: curbă B şi C** (temperatura de referinţă: 30° C)

| Curent (A) | 20° C | 25° C | 30° C | 35° C | 40° C | 45° C | 50° C | 55° C | 60° C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1,05 | 1,02 | 1,00 | 0,98 | 0,95 | 0,93 | 0,90 | 0,88 | 0,85 |
| 2 | 2,08 | 2,04 | 2,00 | 1,96 | 1,92 | 1,88 | 1,84 | 1,80 | 1,74 |
| 3 | 3,18 | 3,09 | 3,00 | 2,91 | 2,82 | 2,70 | 2,61 | 2,49 | 2,37 |
| 4 | 4,24 | 4,12 | 4,00 | 3,88 | 3,76 | 3,64 | 3,52 | 3,36 | 3,24 |
| 6 | 6,24 | 6,12 | 6,00 | 5,88 | 5,76 | 5,64 | 5,52 | 5,40 | 5,30 |
| 10 | 10,6 | 10,3 | 10,0 | 9,70 | 9,30 | 9,00 | 8,60 | 8,20 | 7,80 |
| 16 | 16,8 | 16,5 | 16,0 | 15,5 | 15,2 | 14,7 | 14,2 | 13,8 | 13,5 |
| 20 | 21,0 | 20,6 | 20,0 | 19,4 | 19,0 | 18,4 | 17,8 | 17,4 | 16,8 |
| 25 | 26,2 | 25,7 | 25,0 | 24,2 | 23,7 | 23,0 | 22,2 | 21,5 | 20,7 |
| 32 | 33,5 | 32,9 | 32,0 | 31,4 | 30,4 | 29,8 | 28,4 | 28,2 | 27,5 |
| 40 | 42,0 | 41,2 | 40,0 | 38,8 | 38,0 | 36,8 | 35,6 | 34,4 | 33,2 |
| 50 | 52,5 | 51,5 | 50,0 | 48,5 | 47,4 | 45,5 | 44,0 | 42,5 | 40,5 |
| 63 | 66,2 | 64,9 | 63,0 | 61,1 | 58,0 | 56,7 | 54,2 | 51,7 | 49,2 |

**NS250N/H/L** (temperatura de referinţă: 40° C)

| Curent (A) | 40° C | 45° C | 50° C | 55° C | 60° C |
|---|---|---|---|---|---|
| TM160D | 160 | 156 | 152 | 147 | 144 |
| TM200D | 200 | 195 | 190 | 185 | 180 |
| TM250D | 250 | 244 | 238 | 231 | 225 |

***Tab. H41:*** *Exemplu de tabele pentru determinarea factorului de declasare/supraclasare în funcţie de temperatura ambiantă pentru întreruptoarele automate fără declanşatoare compensate.*

**Exemplu**
Care este valoarea curentului nominal $I_n$, aferentă unui întreruptor automat C60N cu următoarele funcţii:
- protejează un circuit, curentul de sarcină maxim fiind estimat la 34 A;
- este instalat alături de alte întreruptoare automate, într-o cutie de distribuţie închisă;
- temperatura mediului ambiant este de 50° C.

Un întreruptor automat C60N de 40 A va trebui utilizat la 35,6 A la temperatura mediului ambiant de 50° C (vezi **Tab. H41**). Pentru a ţine seama de încălzirea reciprocă din spaţiul închis trebuie utilizat un coeficient de 0,8 - după cum s-a arătat mai devreme - astfel încât 35,6 x 0,8 = 28,5 A, care nu este corespunzător sarcinii de 34 A. De aceea, trebuie ales un întreruptor automat de 50 A, care asigură un curent nominal după declasare de 44 x 0,8 = 35,2 A.

## Declanşatoare termice şi electromagnetice compensate

Aceste declanşatoare conţin o lamă bimetalică de compensare, care permite reglajul curentului de declanşare la suprasarcină ($I_r$ sau $I_{rth}$) în cadrul unui interval specific, independent de temperatura ambiantă.
**Exemplu:**
- în anumite ţări sistemul TT este standard pentru reţelele de distribuţie de JT şi instalaţiile casnice (sau similare) sunt protejate la punctul de delimitare de un întreruptor automat furnizat de autoritatea competentă. Acest întreruptor automat, pe lângă protecţia la atingerea indirectă, va declanşa la suprasarcină în cazul în care consumatorul depăşeşte nivelul de curent fixat în contractul încheiat cu furnizorul de energie. Întreruptoarele automate ($I_n \leqslant 60A$) sunt compensate pentru intervalul de temperaturi (-5° C la +40° C).
- întreruptoarele automate de JT, având curenţii nominali ($I_n \leqslant 630$ A) sunt de regulă echipate cu declanşatoare compensate pentru intervalul (-5° C la +40° C).

## Declanşatoare electronice

*Declanşatoarele electronice sunt foarte stabile în condiţii de temperatură variabilă.*

Un avantaj important al declanşatoarelor electronice îl constituie stabilitatea caracteristicilor, în condiţii de temperatură variabilă. Totuşi, însuşi aparatul de comutaţie impune limite, aşa cum s-a menţionat anterior, astfel încât fabricanţii dau de obicei un tabel de dependenţă a valorilor maxime admisibile pentru valorile curentului de declanşare în funcţie de temperatura ambiantă (vezi **Fig. H42**).



| Masterpact, versiunea NW20 | | | 40°C | 45°C | 50°C | 55°C | 60°C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| H1/H2/H3 | Debroşabil cu bornele pe plat | $I_n$ (A) | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 1.980 | 1.890 |
| | | Reglaj maxim $I_r$ | 1 | 1 | 1 | 0,99 | 0,95 |
| L1 | Debroşabil cu bornele pe cant | $I_n$ (A) | 2.000 | 2.000 | 1.900 | 1.850 | 1.800 |
| | | Reglaj maxim $I_r$ | 1 | 1 | 0,95 | 0,93 | 0,90 |

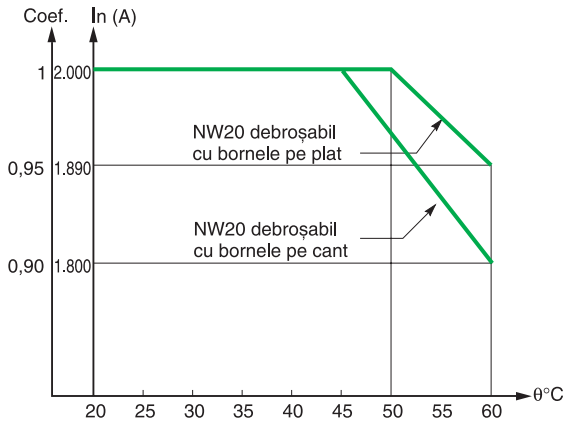
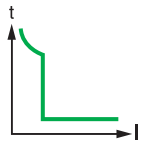
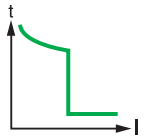
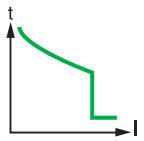
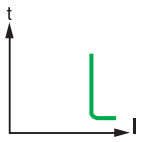



*Fig. H42: Declasarea unui întreruptor automat Masterpact NW20, în funcţie de temperatură.*

## Alegerea pragului de declanșare instantanee sau cu temporizare redusă

**Tabelul H43** de mai jos prezintă principalele caracteristici ale declanșatoarelor instantanee sau cu temporizare redusă.

| Tip | Declanșator | Aplicații |
|---|---|---|
|  | Reglaj jos, tip B | ■ surse cu puteri de scurtcircuit reduse (generatoare de rezervă)<br>■ cabluri sau linii aeriene lungi |
|  | Reglaj standard, tip C | ■ protecția circuitelor, cazul general |
|  | Reglaj sus tip D sau K | ■ protecția circuitelor cu curenți tranzitorii inițiali importanți (motoare, transformatoare, sarcini rezistive) |
|  | 12 $I_n$ tip MA | ■ protecția motoarelor în asociere cu discontactoarele (contactoare cu protecție la suprasarcină) |

*Tab. H43: Diferite declanșatoare instantanee sau cu temporizare redusă.*



*Instalarea unui întreruptor automat de JT impune ca valoarea capacității de rupere a acestuia (sau aceea a întreruptorului automat împreună cu a dispozitivului asociat) să fie egală sau mai mare decât curentul de scurtcircuit prezumat calculat, în punctul de instalare.*

## Alegerea întreruptorului automat în funcție de capacitatea de rupere

Instalarea unui întreruptor automat într-o instalație de JT trebuie să îndeplinească una din condițiile următoare:

■ să aibă o capacitate de rupere $I_{cu}$ și $I_{cs}$ (sau $I_{cn}$) egală sau mai mare decât curentul de scurtcircuit prezumat, calculat în punctul respectiv al instalatiei, sau

■ dacă prima condiție nu este satisfăcută, să fie asociat cu un alt dispozitiv, plasat în amonte, care are capacitatea de deconectare necesară.

În al doilea caz, caracteristicile celor două dispozitive trebuie să fie coordonate astfel încât energia care poate să treacă prin dispozitivul din amonte să nu depășească pe cea pe care poate să o suporte dispozitivul din aval. De asemenea cablurile asociate, conductoarele și celelalte componente, trebuie să nu fie afectate în nici un fel. Această tehnică este utilizată eficient în:

■ asocierea siguranțelor cu întreruptoare automate;

■ asocierea întreruptoarelor limitatoare cu întreruptoare automate standard.

Această tehnică este denumită filiație (vezi subparagraful 4.5).

*Întreruptorul automat conectat la ieșirea celui mai mic transformator trebuie să aibă capacitatea de rupere adecvată curentului de defect cel mai mare care poate să treacă prin întreruptorul automat aferent oricărui alt transformator.*

## Alegerea întreruptoarelor automate generale și plecări

**Un singur transformator**

Dacă transformatorul este plasat în postul de transformare de tip consumator, anumite standarde naționale impun un aparat de comutație de JT, la care poziția "deschis" a contactelor este vizibilă, cum este cazul unui Compact NS debroșabil.

**Exemplu** (vezi **Fig. H44** pagina alaturată)

Ce tip de aparat este potrivit pentru a îndeplini funcția de întreruptor automat principal într-o instalație alimentată printr-un transformator trifazat 250 kVA MT/JT (400 V) plasat într-un post de transformare de tip consumator?

$I_n$ transformator = 360 A

$I_{sc}$ (trifazat) = 8,9 kA

Un întreruptor automat de 400 A, cu un declanșator reglabil în intervalul 250 - 400 A și cu o capacitate nominală de rupere ($I_{cu}$ = 45 kA) va fi corespunzător acestei utilizări.

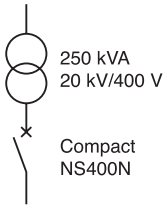



*Fig. H44: Exemplu de transformator plasat în postul de transformare de tip consumator.*

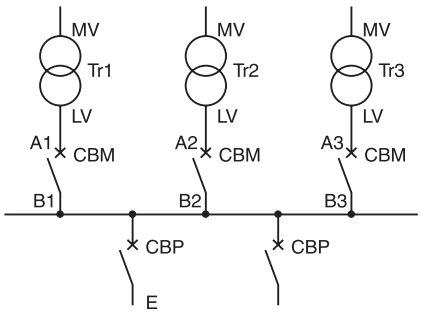



*Fig. H45: Transformatoare în paralel.*

**Mai multe transformatoare în paralel** (vezi **Fig. H45**)

■ Întreruptoarele automate CBP plecări din tabloul de distribuție de JT, trebuie să fie capabile să întrerupă curentul de defect al tuturor transformatoarelor conectate în paralel la barele colectoare adică: $I_{scl} + I_{sc2} + I_{sc3}$;

■ Întreruptoarele automate CBM, fiecare controlând câte o ieșire de transformator, trebuie să fie capabile să deconecteze curentul de scurtcircuit maxim (de exemplu) de numai $I_{sc2} + I_{sc3}$ pentru un scurtcircuit produs în amonte de CBM1. Din aceste considerații, se observă că în aceste circumstanțe, întreruptorul automat al celui mai mic transformator va fi afectat de cel mai mare curent de scurtcircuit, în timp ce întreruptorul automat al celui mai mare transformator va fi parcurs de cel mai mic curent de scurtcircuit;

■ Reglajul intreruptoarelor automate CBM trebuie ales în acord cu puterile nominale ale transformatoarelor respective.

**Notă:** condițiile de bază pentru funcționarea corectă a celor trei transformatoare trifazate în paralel, pot fi rezumate astfel:

1. Defazajul între tensiunile primar și secundar să fie același pentru toate unitățile conectate în paralel.
2. Tensiunile nominale în gol trebuie să fie aceleași pentru toate unitățile.
3. Tensiunea de scurtcircuit ($u_{sc}$%) trebuie să fie aceeași pentru toate unitățile.

De exemplu, un transformator de 750 kVA cu $u_{sc}$ = 6% va alimenta corect o sarcină împreună cu un transformator de 1000 kVA, având $u_{sc}$ = 6%. În acest caz, transformatoarele vor fi încărcate proporțional cu puterile lor. Pentru transformatoare la care raportul puterilor depășește valoarea 2, funcționarea în paralel nu este recomandată.

**Tabelul H46** indică pentru configurația cea mai uzuală (2 sau 3 transformatoare de puteri egale) curenții de scurtcircuit care solicită întreruptoarele automate CBM și CBP conform **Fig. H45**. Tabelul se bazează pe următoarele ipoteze:

■ puterea trifazată de scurtcircuit pe partea de MT a transformatorului este 500 MVA;

■ transformatoarele sunt de tip standard de 20/0,4 kV și au puteri nominale conform tabelului;

■ cablurile aferente fiecărui transformator, până la întreruptorul automat de JT, sunt realizate din conductor monofilar, de lungime 5 m;

■ între fiecare CBM al circuitului de sosire și fiecare CBP al circuitului de plecare există o lungime de 1 m de bare colectoare;

■ aparatajul de comutație este instalat într-un dulap de distribuție închis, montat la sol; temperatura ambiantă este de 30° C.

De asemenea tabelul indică tipurile de întreruptoare automate din fabricația Merlin Gerin recomandate pentru funcția de tip CBM și respectiv CBP, la fiecare caz.

**Exemplu** (vezi **Fig. H47** pagina următoare).

■ Alegerea întreruptoarelor automate pentru funcția de CBM:

$I_n$ pentru un transformator de 800 kVA = 1126 A (la 410 V tensiune în gol)

$I_{cu}$ (minim) = 48 kA (din **Tab. H46)**

CBM indicat în tabel este Compact NS 1250 N ($I_{cu}$ = 50 kA).

■ Alegerea întreruptoarelor automate pentru funcția CBP:

Capacitatea de rupere la scurtcircuit ($I_{cu}$) necesară acestor întreruptoare automate este 56 kA, conform **Tab. H46**.

Soluția recomandată pentru cele trei circuite de plecare 1, 2 și 3 o reprezintă întreruptoarele automate limitatoare de curent, tip NS 400 L, NS 250 L, NS 100L. Curentul $I_{cu}$ în fiecare caz este 150 kA.

| Numărul și puterea nominală (kVA) pentru transformatoare 20/0,4 kV | Capacitatea de rupere min. a întreruptorului automat sosire ($I_{cu}$) kA | Selectivitatea totală între întreruptoarelor autom. sosire (CBM) și plecare (CBP) din TG | Capacitatea de rupere min. a întreruptoarelor autom. plecare ($I_{cu}$) kA | Curentul nominal $I_n$ al întreruptoarelor autom. plecare (CPB) 250A |
|---|---|---|---|---|
| 2 x 400 | 14 | NW08N1/NS800N | 27 | NS250H |
| 3 x 400 | 28 | NW08N1/NS800N | 42 | NS250H |
| 2 x 630 | 22 | NW10N1/NS1000N | 42 | NS250H |
| 3 x 630 | 44 | NW10N1/NS1000N | 67 | NS250H |
| 2 x 800 | 19 | NW12N1/NS1250N | 38 | NS250H |
| 3 x 800 | 38 | NW12N1/NS1250N | 56 | NS250H |
| 2 x 1.000 | 23 | NW16N1/NS1600N | 47 | NS250H |
| 3 x 1.000 | 47 | NW16N1/NS1600N | 70 | NS250H |
| 2 x 1.250 | 29 | NW20N1/NS2000N | 59 | NS250H |
| 3 x 1.250 | 59 | NW20N1/NS2000N | 88 | NS250L |
| 2 x 1.600 | 38 | NW25N1/NS2500N | 75 | NS250L |
| 3 x 1.600 | 75 | NW25N1/NS2500N | 113 | NS250L |
| 2 x 2.000 | 47 | NW32N1/NS3200N | 94 | NS250L |
| 3 x 2.000 | 94 | NW32N1/NS3200N | 141 | NS250L |

*Tab. H46: Valorile maxime ale curentului de scurtcircuit ce pot fi întrerupte de întreruptoarele sosire și plecare din TG (CBM și CBP), pentru câteva transformatoare în paralel.*

Aceste întreruptoare automate oferă următoarele avantaje:
☐ selectivitate totală față de întreruptorul automat CBM din amonte,
☐ utilizarea tehnicii "filiației" pentru componentele din aval, rezultând avantaje economice.

*Nivelele de curent de scurtcircuit din orice punct al unei instalații electrice pot fi obținute din tabele.*

## Alegerea întreruptoarelor automate din circuitul de plecare și din circuitele finale

**Utilizarea Tabelului G40**
Cu ajutorul acestui tabel poate fi determinată rapid valoarea curentului de scurtcircuit trifazat, în orice punct al instalației, dacă se cunosc:
■ valoarea curentului de scurtcircuit într-un punct din amonte de întreruptorul respectiv;
■ lungimea, secțiunea și structura conductoarelor între cele două puncte.
Este recomandată alegerea unui întreruptor automat cu o capacitate de rupere superioară celei din tabel.

**Calculul detaliat al nivelului curentului de scurtcircuit**
Pentru a calcula în mod precis curentul de scurtcircuit, mai ales atunci când capacitatea de rupere a întreruptorului automat este ceva mai mică decât cea indicată în tabel, este necesar să se utilizeze metoda din capitolul G, paragraful 4.

**Întreruptoarele automate bipolare (cu poli pe fază și neutru), având protecție pe un singur pol**
Aceste întreruptoare automate sunt în general dotate cu un dispozitiv de protecție la supracurent, plasat numai pe polul fazei. Acestea pot fi utilizate în schemele TT, TN-S și IT. Reamintim că într-o schemă IT trebuiesc respectate următoarele condiții:
■ condiția (B) din **Tab. G67**, relativ la protecția conductorului de neutru, față de supracurentul care apare în cazul defectului dublu;
■ capacitatea de deconectare la scurtcircuit (nominală): un întreruptor automat bipolar (fază și neutru) trebuie să fie capabil să întrerupă pe un pol (la tensiunea dintre faze) curentul unui defect dublu egal cu 15% din curentul de scurtcircuit trifazat din punctul respectiv al instalației, dacă curentul este ⩽ 10 kA, sau 25% din curentul de scurtcircuit trifazat, dacă acesta depășește 10 kA;
■ protecția la atingere indirectă: această protecție este realizată conform regulilor pentru schemele IT.

**Capacitate de deconectare insuficientă**
În sistemele de distribuție de JT se întâmplă uneori (mai ales în rețelele foarte încărcate) ca $I_{sc}$ calculat să depășească $I_{cu}$ al întreruptorului automat disponibil în instalație, sau modificări ale rețelei din amonte, să ducă la depășirea performanțelor întreruptorului automat de JT.
■ Soluția 1: verificați dacă întreruptoarele automate din amonte sunt limitatoare de curent, permițând aplicarea principiului filiației (descris în subparagraful 4.5);
■ Soluția 2: instalarea unei game de întreruptoare automate având performanțe sporite. Această soluție este interesantă din punct de vedere economic atunci când numai unul sau două întreruptoare sunt afectate;
■ Soluția 3: asocierea siguranțelor limitatoare de curent "gG" sau "aG" (cu întreruptoarele automate implicate), pe partea amonte. Această combinație trebuie totuși să respecte următoarele reguli:
☐ performanțele siguranței trebuie să fie corespunzătoare,
☐ să nu se monteze siguranțe pe conductorul de neutru, exceptând anumite instalații IT unde un defect dublu produce un curent în conductorul de neutru care poate depăși capacitatea de deconectare a întreruptorului automat. În acest caz, topirea siguranței de pe neutru, trebuie să ducă la declanșarea întreruptorului automat și întreruperea tuturor fazelor.



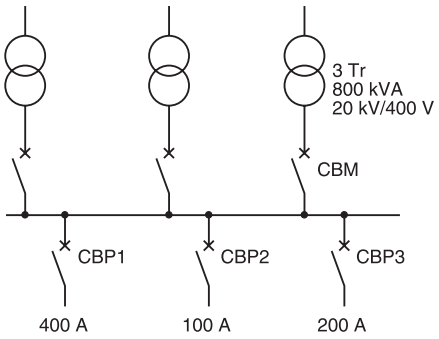



***Fig. H47:*** *Transformatoare în paralel.*

*Tehnica "filiației" utilizează proprietățile întreruptoarelor limitatoare de curent pentru a permite instalarea în aval de acestea, a unor cabluri și componente de circuit cu performanțe semnificativ mai reduse decât ar fi fost necesar, simplificând și reducând costurile instalației.*

# 4.5 Coordonarea între întreruptoarele automate

## Tehnica "filiației"

**Descrierea tehnicii "filiației"**
Prin limitarea în amplitudine și durată a valorii de vârf a curentului de scurtcircuit un întreruptor automat limitator permite utilizarea, în circuitele din aval, a unor aparate de comutație și componente de circuit cu capacități de deconectare și performanțe de stabilitate termică și electrodinamică mai scăzute decât în cazurile clasice. Reducerea dimensiunilor fizice și a cerințelor de perfomanță asigură economii substanțiale și simplificarea lucrărilor de instalare. Este de remarcat că, în timp ce întreruptoarele automate limitatoare de curent produc un efect de creștere virtuală a impedanței sursei pe durata scurtcircuitului, acestea nu au nici un efect în alte condiții cum ar fi pornirea unui motor de putere mare (când este de dorit o impedanță redusă a sursei). În acest sens, de mare interes este gama de întreruptoare limitatoare Compact NS cu performanțe ridicate de limitare.

*În general sunt necesare încercări de laborator, pentru a ne asigura că sunt îndeplinite condițiile de exploatare impuse de standardele naționale și că producătorul asigură combinații corespunzătoare de aparate de comutație*

## Condiții de exploatare

Cele mai multe standarde naționale permit utilizarea tehnicii "filiației" cu condiția ca nivelul de energie care trece prin întreruptoarele limitatoare să fie mai mic decât cel pe care pot să îl suporte întreruptoarele și componentele din aval.
În practică, această condiție poate fi verificată numai prin încercări realizate în laborator. Astfel de teste sunt realizate de fabricanți care furnizează informații sub formă de tabel. În acest mod, utilizatorii pot să proiecteze într-o manieră riguroasă o schemă tip cascadă, bazată pe combinații de tipuri de întreruptoare recomandate.
De exemplu, **Tab. H48** indică posibilitatea utilizării tehnicii "filiației" a întreruptoarelor automate de tip C60, Clario și NG125, dacă se instalează în aval de întreruptoarele limitatoare NS 250 N, H sau L pentru instalații de 230/400 V sau 240/415 V trifazate.

| | $kA_{eficace}$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Capacitatea de rupere a întreruptorului automat limitator amonte** | 150 | | | NS250L |
| | 50 | | NS250H | |
| | 35 | NS250N | | |
| **Capacitatea de rupere a întreruptorului automat aval (beneficiind de tehnica "filiației")** | 150 | | | NG125L |
| | 70 | | NG125L | |
| | 40 | | C60L ⩽ 40 A | C60L ⩽ 40 A |
| | 36 | NG125N | NG125N | |
| | 30 | C60H<br>C60L | C60N/H/L | C60N/H<br>C60L 50-63 A |
| | 25 | C60N<br>C120N/H | C120N/H | <br>C120N/H |
| | 20 | Clario | Clario | Clario |

***Tab. H48:*** *Exemple de posibilități de "filiație" pentru instalații de 230/400 V sau 240/415 V trifazate.*

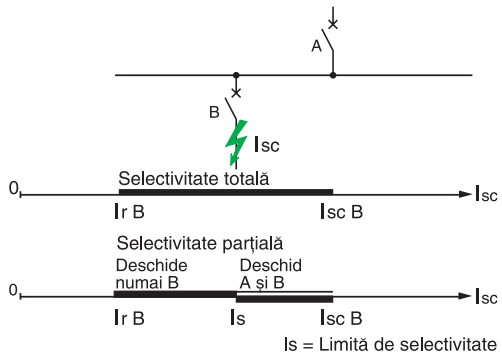



***Fig. H49:*** *Selectivitate totală și parțială.*

*Selectivitatea poate fi totală sau parțială. Aceasta poate fi bazată pe principiul nivelelor de curent sau temporizărilor sau o combinație a celor două. Dezvoltări recente sunt bazate pe principiul selectivității logice.*
*Un sistem (brevetat de Merlin Gerin) utilizează avantajele combinate ale limitării de curent și selectivității.*

## Avantajele tehnicii "filiației"

De procesul de limitare a curentului beneficiază toate circuitele din aval care sunt alimentate prin întreruptorul automat limitator respectiv.
Principiul nu este restrictiv, adică întreruptoarele automate limitatoare pot fi montate în orice punct al instalației unde circuitele și componentele din aval ar avea performanțe inadecvate.
Rezultatul este:
- simplificarea calculelor de curent de scurtcircuit;
- simplificarea, adică alegerea într-un domeniu mai larg a aparatelor de comutație și echipamentelor din aval;
- utilizarea unor aparate de comutație și echipamente cu performanțe mai reduse, cu micșorarea costurilor corespunzătoare;
- economie de spații de amplasare, deoarece echipamentele cu performanțe mai reduse sunt în general mai puțin voluminoase.

## Declanșarea selectivă (selectivitatea)

Selectivitatea este realizată de dispozitive automate de protecție, astfel încât un defect care apare în orice punct a instalației, să fie deconectat de dispozitivele de protecție plasate imediat în amonte de defect, în timp ce toate celelalte dispozitive de protecție rămân în aceeași stare (vezi **Fig. H49**).

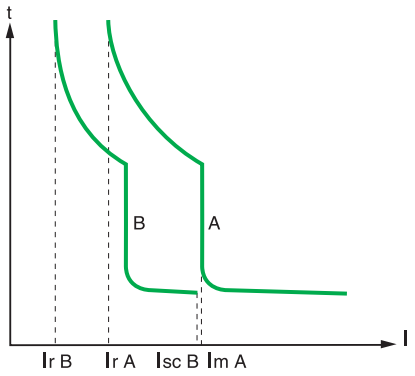



*Fig. H50: Selectivitate totală între întreruptoarele automate A și B.*

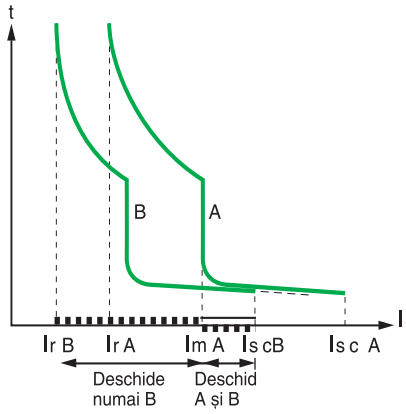



*Fig. H51: Selectivitate parțială între întreruptoarele automate A și B.*

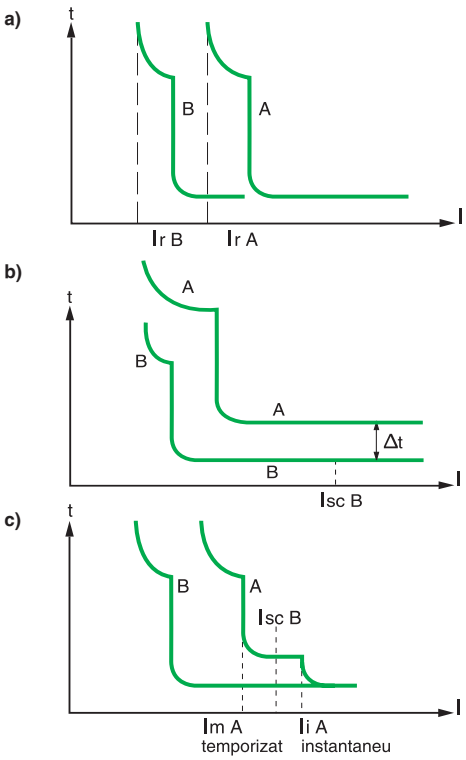



*Fig. H52: Selectivitate.*

Selectivitatea între întreruptoarele automate A și B este totală dacă valoarea maximă a curentului de scurtcircuit în circuitul B ($I_{sc}$ B) nu depășește reglajul de declanșare la scurtcircuit al întreruptorului automat A ($I_m$ A). În această situație la scurtcircuit va declanșa numai B (vazi **Fig. H50**).
Selectivitatea este parțială dacă curentul de scurtcircuit maxim posibil în circuitul B depășește reglajul de declanșare aferent întreruptorului automat A. Într-o astfel de situație la curent de scurtcircuit maxim, vor declanșa ambele întreruptoare automate A și B (vezi **Fig. H51**).

**Selectivitatea bazată pe nivelul de curent: protecția împotriva suprasarcinilor** (vezi **Fig. H52a**).
Această metodă este realizată prin reglajul succesiv al nivelelor de declanșare ale releelor, în trepte, de la releul din aval (reglaj inferior) către sursă (reglaj superior).
Selectivitatea este totală sau parțială conform anumitor condiții particulare, așa cum s-a arătat în exemplele de mai sus.
Ca regulă selectivitatea este obținută când:
- $I_r A / I_r B > 2$:

**Selectivitatea bazată pe nivele de timp: protecția împotriva scurtcircuitelor de nivel scăzut** (vezi **Fig. H52b**)
Această metodă este implementată prin reglajul declanșării temporizate astfel încât releele din aval să aibă cel mai scurt timp de acțiune; întârzierea crește progresiv pe măsură ce înaintăm către sursă.
În diagrama cu două nivele prezentată întreruptorul automat A, din amonte, este întârziat suficient pentru a asigura selectivitatea totală cu întreruptorul automat B (de exemplu, Masterpact cu declanșator electronic).

**Selectivitatea bazată pe combinarea celor două metode de mai sus** (vezi **Fig. H52c**)
O întârziere mecanică, adițională schemei nivelelor de curent, poate să îmbunătățească performanțele de selectivitate globală. Întreruptorul automat din amonte are două niveluri pentru declanșarea electromagnetică ultrarapidă:
- $I_m$ A declanșator magnetic cu temporizare sau declanșator electronic cu scurtă temporizare;
- $I_i$ declanșare instantanee.

Selectivitatea este totală dacă $I_{sc}$ B < $I_i$ (instantanee).

**Selectivitatea bazată pe nivelele energiei arcului electric: protecția împotriva scurtcircuitelor foarte puternice**
Această tehnologie implementată în întreruptorul automat limitator Compact NS este extrem de eficientă pentru obținerea selectivității totale.
**Principiu:** Atunci când un scurtcircuit foarte puternic este detectat de către două întreruptoare automate A și B, contactele acestora se deschid simultan. Ca rezultat curentul este limitat semnificativ.
- cantitatea importantă de energie a arcului electric provoacă declanșarea întreruptorului automat B;
- apoi energia scade și nu mai este suficientă pentru a provoca declanșarea lui A.

Ca regulă, selectivitatea între Compact NS este totală dacă raportul între A și B este mai mare decât 2,5.

## Selectivitate prin nivele de curent

*Selectivitatea prin nivele de curent este realizată prin reglajul în trepte al curenților de acționare ai declanșatoarelor magnetice.*

Selectivitatea prin nivele de curent este realizată cu întreruptoare automate, de preferat limitatoare, prin reglajul în trepte al nivelelor de curent aferente declanșatoarelor electromagnetice instantanee.
În acest sens pot exista mai multe cazuri:
- Întreruptorul din aval nu este limitator de curent

În acest caz, selectivitatea totală este practic imposibilă, deoarece $I_{sc}$A este aproximativ egal cu $I_{sc}$B astfel încât ambele întreruptoare automate vor declanșa simultan. Ca urmare, pentru această situație, selectivitatea este parțială și limitată la $I_m$ al întreruptorului automat din amonte (vezi **Fig. H51**).
- Întreruptorul din aval este limitator de curent

Îmbunătățirea declanșării selective poate fi obținută prin utilizarea unui întreruptor automat limitator de curent în aval, adică în poziția întreruptorului B. Pentru un scurtcircuit produs în aval de B, curentul limitat $I_B$ va duce la funcționarea declanșatorului electromagnetic din B (reglat corespunzător) dar va fi insuficient pentru a produce declanșarea lui A.
**Notă:** toate întreruptoarele automate de JT (considerate aici) au un anumit grad de limitare al curentului, chiar și acelea care nu sunt clasificate ca limitatoare de curent. Acest fapt s-a luat în considerare pentru curba caracteristică a întreruptorului automat standard A, prezentată în **Fig. H53**. Sunt necesare totuși calcule și teste adecvate pentru a asigura performanțe satisfăcătoare în cazul acestei combinații.

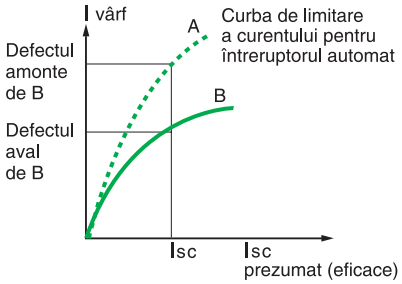



*Fig. H53: Limitarea aval de întreruptorul automat B.*

■ Întreruptorul automat din amonte este de tip ultrarapid cu întârziere redusă (SD) Aceste întreruptoare sunt dotate cu declanșatoare care au o temporizare redusă, nereglabilă. Întârzierea este suficientă pentru asigurarea unei selectivități absolute cu orice alt întreruptor ultrarapid din aval, la orice valoare a curentului de scurtcircuit, până la valoarea $I_i$ A (vezi **Fig. H54**).

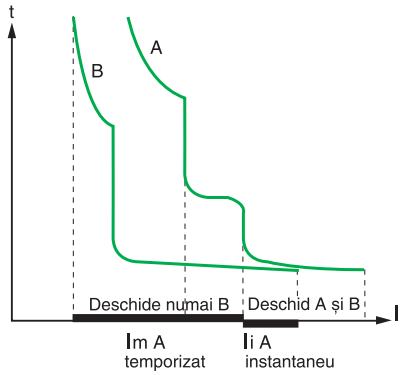



*Fig. H54: Utilizarea unui întreruptor automat amonte selectiv.*

**Exemplu**
Întreruptorul automat A: Compact NS250N dotat cu un declanșator care include o caracteristică SD.
$I_r$ = 250 A, declanșator magnetic reglat la 2000 A
Întreruptorul automat B: Compact NS100N
$I_r$ = 100 A
Catalogul de distribuție electrică Merlin Gerin indică limita de selectivitate la 3000 A (o îmbunătățire peste limita de 2500 A obținută la folosirea unui declanșator standard).

*Selectivitatea bazată pe declanșare întârziată, utilizeaza întreruptoare automate numite "selective" (în anumite țări).*
*Utilizarea acestor întreruptoare automate este relativ simplă și constă în eșalonarea în timp a momentelor de declanșare pentru mai multe întreruptoare automate conectate în serie.*

## Selectivitate temporală

Această tehnică necesită:
■ introducerea unui mecanism de temporizare în structura declanșatoarelor aferente;
■ întreruptoare automate cu performanțe de stabilitate termică și electrodinamică corespunzătoare nivelelor ridicate de curent și întârzierilor implicate.
Două întreruptoare automate A și B în serie (parcurse de același curent) sunt selective dacă durata de declanșare a întreruptorului automat B din aval este mai mică decât durata de nondeclanșare a întreruptorului automat A.

**Selectivitate pe mai multe nivele**
Un exemplu de schemă practică cu întreruptoare automate Merlin Gerin - Masterpact (cu dispozitive electronice de protecție). Aceste întreruptoare automate sunt echipate cu temporizatoare reglabile permițând 4 trepte de reglaj, astfel încât:
- întârzierea corespunzătoare unei anumite trepte este mai mare decât timpul de întrerupere total al treptei următoare inferioare;
- temporizarea corespunzătoare primei trepte este mai mare decât timpul total de rupere al întreruptoarelor automate ultrarapide (tip Compact de exemplu) sau al fuzibilelor (vezi **Fig. H55**).

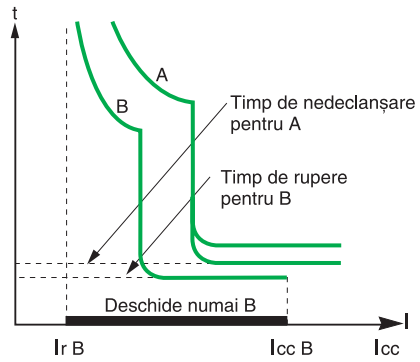



*Fig. H55: Selectivitate temporală.*

## Limitare și selectivitate obținute pe baza energiei arcului electric (selectivitate energetică)

Filiația între 2 aparate este obținută utilizând declanșarea întreruptorului automat din amonte A pentru a ajuta întreruptorul automat din aval B să rupă arcul. Limita selectivității $I_s$ este în consecință egală cu capacitatea de rupere ultimă $I_{cu}$ B a întreruptorului automat B acționând singur, deoarece filiația implică declanșarea ambelor aparate.
Tehnologia bazată pe energia arcului electric implementată în întreruptoarele automate Compact NS permite creșterea limitelor selectivității. Principiile sunt următoarele:
- întreruptorul automat limitator din aval **(B)** vede un curent de scurtcircuit important. Declanșarea este rapidă (< 1ms) și deci curentul este limitat;
- întreruptorul automat amonte **(A)** vede un curent de scurtcircuit limitat comparat cu capacitatea sa de rupere. Acest curent provoacă o respingere a contactelor. Ca rezultat tensiunea arcului crește și curentul este și mai mult limitat. Presiunea nu este destul de mare pentru a provoca declanșarea întreruptorului automat. Deci, întreruptorul automat A va ajuta întreruptorul automat B să declanșeze, fără a declanșa el însuși. Limita selectivității poate fi mai mare decât $I_{cu}$ B și selectivitatea devine totală la un cost optim al aparatelor.

## Selectivitate totală naturală cu Compact NS

Avantajul major al întreruptorului automat Compact NS constă în asigurarea selectivității totale naturale între două aparate înseriate dacă:
- raportul între curenții nominali ai celor două declanșatoare este > 1,6;
- raportul curenților nominali ai celor două întreruptoare automate > 2,5.

*Se pot realiza scheme de selectivitate logică utilizând întreruptoare automate dotate cu declanșatoare electronice, proiectate special în acest scop (Compact, Masterpact, fabricate de Merlin Gerin) interconectate prin conductoare pilot.*

### Selectivitate logică

Acest sistem de selectivitate necesită întreruptoare automate echipate cu declanșatoare electronice, proiectate special și cu conductoare pilot de interconexiune, pentru transferul de date între întreruptoarele automate.
Pentru două nivele A și B (vezi **Fig. H56**) întreruptorul automat A este reglat să declanșeze instantaneu în caz că releul întreruptorului automat B nu trimite un semnal care să confirme că defectul se află în aval de B.
Acest semnal produce întârzierea declanșării lui A asigurând totodată protecția de rezervă în eventualitatea că întreruptorul automat B nu reușește întreruperea.
Acest sistem (brevetat de Merlin Gerin) permite de asemenea localizarea rapidă a defectelor.

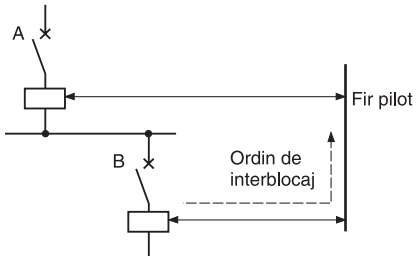



***Fig. H56:*** *Selectivitate logică.*

## 4.6 Selectivitate MT/JT într-un post de transformare de tip consumator

În general, transformatorul dintr-un post de transformare de tip consumator este protejat prin siguranțe de MT care corespund parametrilor transformatorului, în conformitate cu principiile enunțate în CEI 60787 și CEI 60420, urmând indicațiile fabricantului de siguranțe fuzibile.
Deoarece siguranța de MT nu trebuie să declanșeze la defecte apărute pe partea de JT (în aval de întreruptorul de JT), curba caracteristică a celui din urmă trebuie să se găsească la stânga curbei de pre-arc a siguranței fuzibile.
Această condiție, fixează reglajele maximale pentru protecția întreruptorului de JT, și anume:
- reglajul nivelului maxim al curentului de scurtcircuit al declanșatorului electromagnetic;
- întârzierea maximă permisă pentru declanșatorul de scurtcircuit (vezi **Fig. H57**).

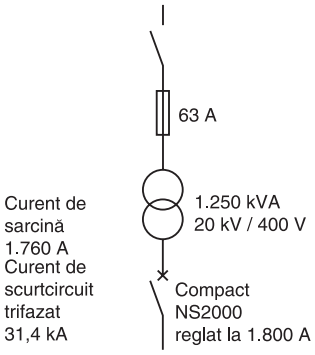



***Fig. H57:*** *Exemplu.*

- nivelul de scurtcircuit la bornele de MT ale transformatorului: 250 MVA;
- transformator MT/JT: 1250 kVA, 20/0,4 kV;
- siguranțe MT: 63 A;
- conexiune între transformator și întreruptorul automat de JT: 10 m de cablu monofilar;
- întreruptor automat de JT: Compact NS 2000 reglat la 1800 A ($I_r$).

Care este reglajul maxim al curentului de declanșare la scurtcircuit și întârzierea maximă permisă?
Curbele din **Fig. H58** arată că selectivitatea este asigurată dacă întârzierea declanșatorului temporizat este reglată la:

- un nivel ⩽ 6 $I_r$ = 10,8 kA;
- un reglaj de întârziere la treapta 1 sau 2.

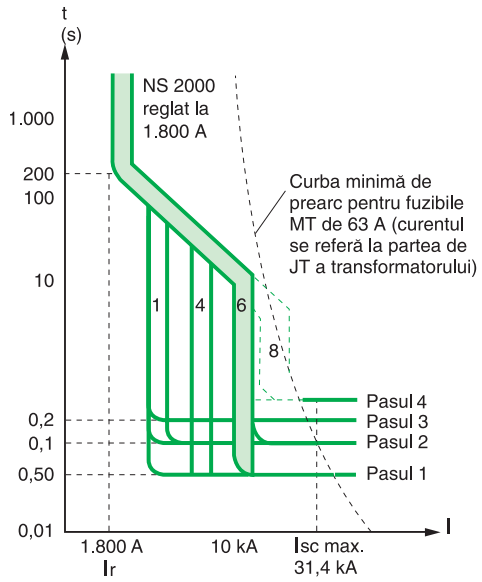



*Fig. H58: Curbele fuzibilelor MT și întreruptorului automat JT.*

# Capitolul J
# Protecția împotriva supratensiunilor la JT

## Cuprins


| | | |
|---|---|---|
| 1 | **General** | **J2** |
| | 1.1 Ce este o supratensiune tranzitorie? | J2 |
| | 1.2 Cele patru tipuri de supratensiuni tranzitorii | J2 |
| | 1.3 Principalele caracteristici ale supratensiunilor tranzitorii | J4 |
| | 1.4 Moduri de propagare | J5 |
| 2 | **Dispozitive de protecție împotriva supratensiunilor** | **J6** |
| | 2.1 Dispozitive de protecție primară (protecția instalațiilor împotriva trăsnetului) | J6 |
| | 2.2 Dispozitive de protecție secundară (protecția instalațiilor interioare împotriva trăsnetului) | J8 |
| 3 | **Standarde** | **J11** |
| | 3.1 Descrierea unui descărcător | J11 |
| | 3.2 Standarde de produs | J11 |
| | 3.3 Datele tehnice ale unui descărcător în conformitate cu standardul CEI 61643-11 | J11 |
| | 3.4 Standarde de instalare ale descărcătoarelor | J13 |
| 4 | **Alegerea unui dispozitiv de protecție** | **J14** |
| | 4.1 Evaluarea riscului supratensiunilor pentru instalația de protejat | J14 |
| | 4.2 Alegerea capacității de scurgere a unui descărcător (pentru o rețea de JT) | J16 |
| | 4.3 Alegerea descărcătorului în funcție de sistemul de tratare a neutrului | J16 |
| | 4.4 Alegerea unui întreruptor automat pentru protejarea descărcătorului | J17 |

# 1 General

## 1.1 Ce este o supratensiune tranzitorie?

O supratensiune tranzitorie este un impuls de tensiune sau o undă care este suprapusă tensiunii nominale a reţelei (vezi **Fig. J1**).

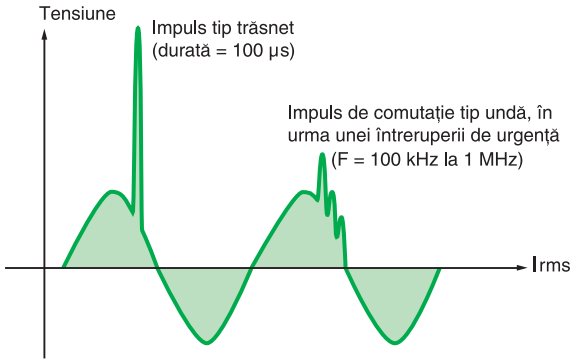



*Fig. J1: Exemple de supratensiuni tranzitorii.*

Acest tip de supratensiune tranzitorie este caracterizat de (vezi **Fig. J2**):
- frontul de undă ($t_f$) măsurat în µs;
- gradientul S măsurat în kV/µs.

O supratensiune tranzitorie perturbă echipamentele şi provoacă radiaţii electromagnetice. Mai mult decât atât, durata supratensiunii tranzitorii (T) cauzează un impuls de energie în circuitele electrice care poate să distrugă echipamentele.

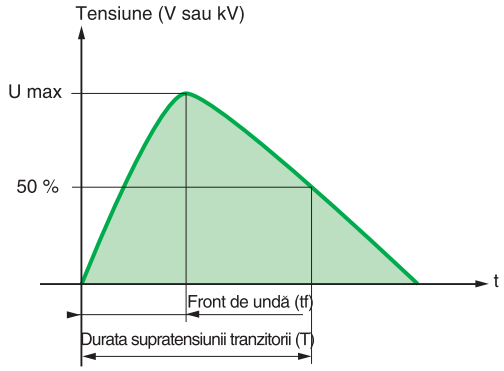



*Fig. J2: Principalele caracteristici ale supratensiunii.*

## 1.2 Cele patru tipuri de supratensiuni tranzitorii

Există patru tipuri de supratensiuni tranzitorii care pot perturba instalaţiile electrice şi consumatorii alimentaţi din acestea:
- supratensiuni tranzitorii de origine atmosferică;
- supratensiuni tranzitorii de comutaţie;
- supratensiuni tranzitorii de frecvenţă industrială;
- supratensiuni tranzitorii cauzate de descărcări electrostatice.

### Supratensiuni tranzitorii de origine atmosferică

**Riscul unei lovituri de trăsnet: câteva cifre**

În fiecare zi între 2000 şi 5000 de furtuni se formează pe planeta noastră. Aceste furtuni sunt însoţite de trăsnete care constituie un risc serios pentru oameni şi echipamente. Lovituri de trăsnet ating pământul cu o rată de 30 până la 100 lovituri pe secundă. Anual aceasta înseamnă 3 mii de miliarde de lovituri de trăsnet.
- Pretutindeni în lume, în fiecare an, mii de persoane sunt lovite de trăsnet şi un număr foarte mare de animale sunt ucise.
- Trăsnetul provoacă un mare număr de incendii, în special asupra clădirilor din ferme.

■ Trăsnetul afectează transformatoarele electrice, contoarele de energie, aparatele electro-casnice, în general toate aplicaţiile electrice şi electronice din sectorul rezidenţial şi industrial.
■ Clădirile înalte sunt cele mai des lovite de trăsnet.
■ Costul reparaţiilor pentru daunele provocate de trăsnete este foarte mare.
■ Este dificilă evaluarea daunelor provocate de perturbaţiile produse de trăsnete asupra reţelelor de telecomunicaţie sau calculatoare, erori ale automatelor programabile sau defectări ale sistemelor de reglare automată.
În plus pierderile provocate de un echipament scos din uz de o lovitură de trăsnet pot avea consecinţe financiare apropiate de costul iniţial al echipamentului.

**Caracteristicile unui descărcări de trăsnet**
**Tabelul J3** arată valorile date de comitetul de protecţie împotriva trăsnetelor (comisia tehnică 81 a CEI). După cum se poate vedea 50% din trăsnete sunt de o forţă mai mare de 33 kA şi 5% sunt mai mari de 85 kA. Energia implicată este deci foarte mare.

| Probabilitatea de producere P% | Curentul de vârf I (kA) | Gradientul S (kA/µs) | Durata totală T (s) | Număr total descărcări n |
|---|---|---|---|---|
| 95 | 7 | 9,1 | 0,001 | 1 |
| 50 | 33 | 24 | 0,01 | 2 |
| 5 | 85 | 65 | 1,1 | 6 |

***Tab. J3:*** *Caracteristicile descărcărilor de trăsnet date de comitetul de protecţie împotriva trăsnetelor al CEI.*

*Trăsnetul provine dintr-o descărcare a sarcinilor electrice acumulate în norii cumulo-nimbus care formează un condensator cu pământul. Fenomenul furtunilor provoacă daune serioase. Trăsnetul este un fenomen atmosferic frecvent care produce supratensiuni tranzitorii în toate elementele conductoare şi în special în conductoare şi în echipamente.*

Este important de cunoscut probabilitatea şi forţa loviturilor atunci când protejăm o instalaţie. Mai trebuie ştiut şi că curentul unui trăsnet este un impuls de curent de înaltă frecvenţă ajungând până la un megahertz.

**Efectele trăsnetului**
Curentul unui trăsnet este deci un curent electric de înaltă frecvenţă. La fel ca şi efectele provocate de o inducţie puternică sau de alte supratensiuni tranzitorii, el provoacă aceleaşi efecte asupra unui conductor ca şi orice alt curent de joasă frecvenţă:
■ Efecte termice: topire la locul impactului şi efectul Joule datorat circulaţiei de curent care provoacă incendii.
■ Efecte electrodinamice: când curentul de trăsnet circulă printr-un conductor paralel cu alte conductoare poate provoca atragere sau respingere între conductoare, adică deformaţii mecanice sau ruperi ale acestora.
■ Efectul de combustie: trăsnetul provoacă dilatarea aerului în canalul de arc implicând suprapresiuni pe o distanţă de zeci de metri. Suflul poate sparge geamuri sau proiecta oameni şi animale la câţiva metri faţă de locaţia iniţială. La reîntoarcerea aerului în canalul de arc, unda de şoc se transformă într-o undă sonoră: tunetul.
■ Supratensiunile tranzitorii circulă după impact pe reţelele electrice sau pe reţelele telefonice aeriene.
■ Supratensiunile induse de efectul radiaţiei electromagnetice a canalului de arc de trăsnet, care acţionează ca o antenă peste câţiva kilometri, şi care reprezintă un impuls de curent considerabil.
■ Ridicarea potenţialului pământului la circulaţia curentului de trăsnet în pământ. Aceasta explică loviturile indirecte ale trăsnetului prin tensiunea de pas şi distrugerea echipamentelor.

## Supratensiuni tranzitorii de comutaţie

O schimbare bruscă în condiţiile de funcţionare ale unei reţele electrice va provoca apariţia unor fenomene tranzitorii. Acestea sunt în general unde de tensiune de înaltă frecvenţă sau amortizate (vezi **Fig. J1**).
Acestea au un front lent; frecvenţa lor variază de la zeci la sute de kilohertzi.
Supratensiunile tranzitorii de comutaţie sunt provocate de:
■ impulsuri de tensiune la deconectarea aparaturii de comutaţie (fuzibile, întreruptoare automate), datorită funcţionării dispozitivelor de protecţie, sau de deschiderea şi închiderea aparatajului de comandă (relee, contactori);
■ impulsuri de tensiune de la circuite inductive provocate de motoare la pornire sau oprire sau conectarea şi deconectarea transformatoarelor în posturile de transformare MT/JT;
■ impulsuri de tensiune la conectarea unei baterii de condensatoare la reţea;
■ toate dispozitivele care conţin o bobină, un condensator sau un transformator, conectate la alimentarea cu energie electrică: relee, contactoare, televizoare, imprimante, computere, cuptoare electrice, filtre, etc.

### Supratensiuni tranzitorii de frecvenţă industrială (vezi **Fig. J4**)

Aceste supratensiuni au aceeaşi frecvenţă ca şi reţeaua (50, 60 sau 400 Hz):
- supratensiuni cauzate de defecte de izolaţie fază/carcasă sau fază/pământ în reţelele cu neutrul izolat sau tratat prin impedanţă sau prin întreruperea conductorului neutru. Când aceasta se întâmplă, aparatele monofazice pot primi în loc de 230 V, până la 400V sau pentru medie tensiune tensiunea poate creşte cu până la √3;
- supratensiuni cauzate de avarii, de exemplu un conductor de medie tensiune căzut peste unul de joasă tensiune.
- funcţionarea unui eclator de înaltă sau medie tensiune provoacă o creştere a potenţialului pământului, pe durata acţionării dispozitivului de protecţie. La ciclurile automate de cuplări-decuplări succesive, ce urmează după detectarea unui defect, aceste dispozitive vor reamorsa arcul dacă defectul persistă.

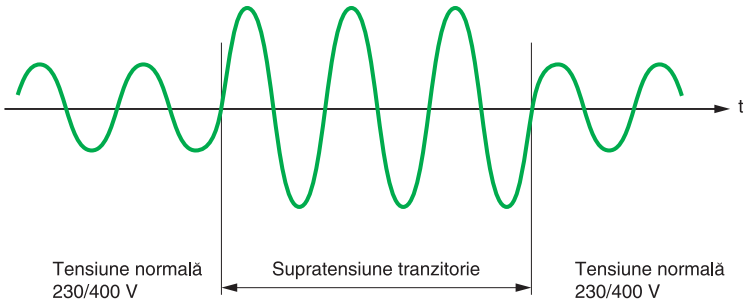



***Fig. J4:*** *Supratensiuni tranzitorii de frecvenţă industrială.*

### Supratensiuni tranzitorii cauzate de descărcări electrostatice

Într-un mediu uscat, sarcinile acumulate crează un câmp electrostatic foarte puternic. De exemplu o persoană mergând pe un covor cu încălţăminte electroizolantă se va încărca cu o sarcină la o tensiune de câţiva kilovolţi. Dacă persoana se apropie de un obiect conductor, va transmite o descărcare electrică de câţiva amperi cu un front de undă de câteva nanosecunde. Dacă avem de-a face cu un obiect conţinând electronică sau circuite imprimate neprotejate acestea pot fi distruse.

*Trei lucruri trebuiesc reţinute:*
- *o lovitură de trăsnet directă sau indirectă poate avea consecinţe distructive asupra instalaţiilor electrice la câţiva kilometri depărtare de locul impactului;*
- *supratensiunile tranzitorii industriale sau de comutaţie pot provoca, de asemenea, daune considerabile;*
- *faptul că o instalaţie este subterană nu o protejează complet, deşi riscul unei lovituri directe este limitat.*

## 1.3 Principalele caracteristici ale supratensiunilor tranzitorii

**Tabelul J5** de mai jos prezintă principalele caracteristici ale supratensiunilor tranzitorii.

| Tip de supratensiune tranzitorie | Coef. supratens. tranzitorii | Durată | Gradientul sau frecvenţa |
|---|---|---|---|
| Frecvenţă industrială (defect de izolaţie) | ⩽ 1,7 | Lungă<br>30 la 1.000 ms | Frecvenţă industrială (50-60-400 Hz) |
| De comutaţie sau descărcare electrostatică | 2 la 4 | Scurtă<br>1 la 100 ms | Medie<br>1 la 200 kHz |
| Atmosferică | > 4 | Foarte scurtă<br>1 la 100 µs | Foarte mare<br>1 la 1.000 kV/µs |

***Tab. J5:*** *Principalele caracteristici ale supratensiunilor tranzitorii.*

## 1.4 Moduri de propagare

### Modul obișnuit

Modul obișnuit de propagare a supratensiunilor este între părțile active și pământ: fază/pământ sau neutru/pământ (vezi **Fig. J6**).
Ele sunt periculoase în special pentru aparatele cu carcasă metalică legată la pământ datorită riscului străpungerii dielectricului.

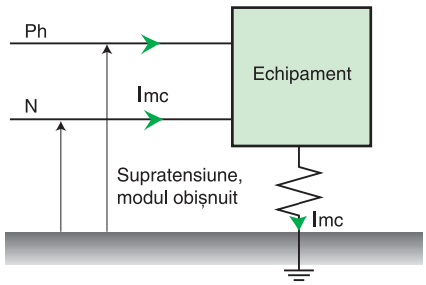



*Fig. J6: Modul obișnuit.*

### Modul diferențial

Modul diferențial de propagare a supratensiunilor este între fază/fază sau fază/neutru (vezi **Fig. J7**).
Ele sunt periculoase în special pentru aparatele electronice, computere etc.

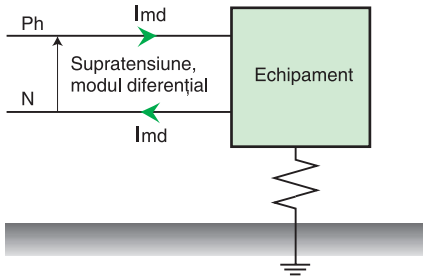



*Fig. J7: Modul diferențial.*

# 2 Dispozitive de protecţie împotriva supratensiunilor

Două tipuri majore de dispozitive sunt utilizate pentru suprimarea sau limitarea supratensiunilor: ele sunt denumite dispozitive de protecţie primară şi dispozitive de protecţie secundară.

## 2.1 Dispozitive de protecţie primară (protecţia instalaţiilor împotriva trăsnetului)

Scopul dispozitivelor de protecţie primară este protecţia instalaţiilor împotriva loviturilor directe ale trăsnetului. Ele captează şi conduc curentul de trăsnet la pământ. Principiul este bazat pe aria de protecţie determinată de o structură care este mai înaltă decât restul. Acelaşi principiu se aplică pentru un stâlp, clădire sau structură metalică înaltă.
Există trei tipuri de protecţie primară:
- conductor paratrăsnet Franklin, care este cel mai vechi şi mai bine cunoscut dispozitiv de protecţie împotriva trăsnetului;
- conductoare aeriene orizontale;
- zăbrele metalice sau cuşca Faraday.

### Conductorul paratrăsnet

Conductorul paratrăsnet este o vergea metalică plasată în vârful unei clădiri. Ea este legată la pământ prin intermediul unuia sau mai multor conductoare (adesea platbandă de cupru) (vezi **Fig. J8**).

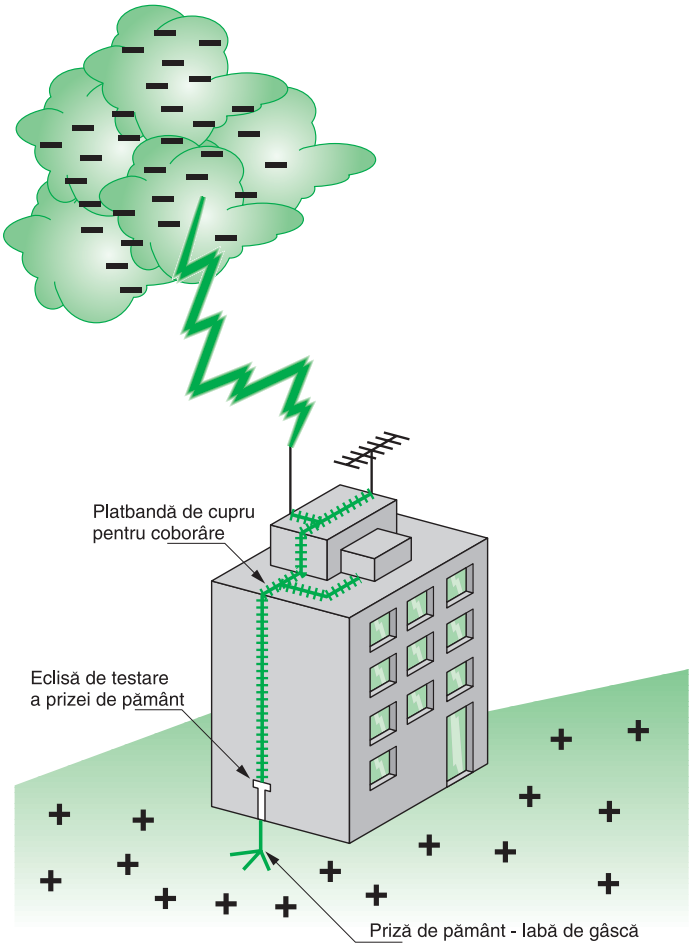



***Fig. J8:*** *Exemplu de protecţie utilizând conductorul paratrăsnet Franklin.*

Proiectarea și execuția unei instalații de paratrăsnet este sarcina unui specialist. Trebuie acordată atenție traseului platbandelor de cupru, ecliselor de testare a prizelor de pământ, electrozilor prizei de pământ și distanțelor până la celelalte rețele utilitare (gaz, apă, etc.).
Mai mult, scurgerea curentului de trăsnet spre pământ va induce supratensiuni, prin radiație electromagnetică, în circuitele electrice ale clădirii ce este protejată. Acestea pot să ajungă la zeci de kilovolți; pentru acest motiv este recomandabil ca să divizăm conductoarele de coborâre în două, patru sau mai multe coborâri în paralel pentru a minimiza efectele electromagnetice.

## Conductoare aeriene orizontale

Aceste conductoare sunt întinse deasupra structurii care urmează a fi protejată (vezi **Fig. J9**). Ele sunt utilizate pentru structuri speciale: lansatoare de rachete, aplicații militare și conductoare de gardă pentru liniile electrice aeriene de înaltă tensiune (vezi **Fig. J10**).

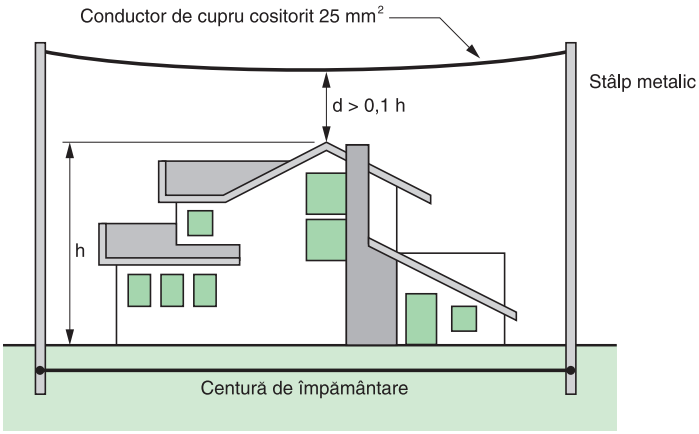



*Fig. J9: Exemplu de paratrăsnet utilizând metoda conductorului orizontal.*

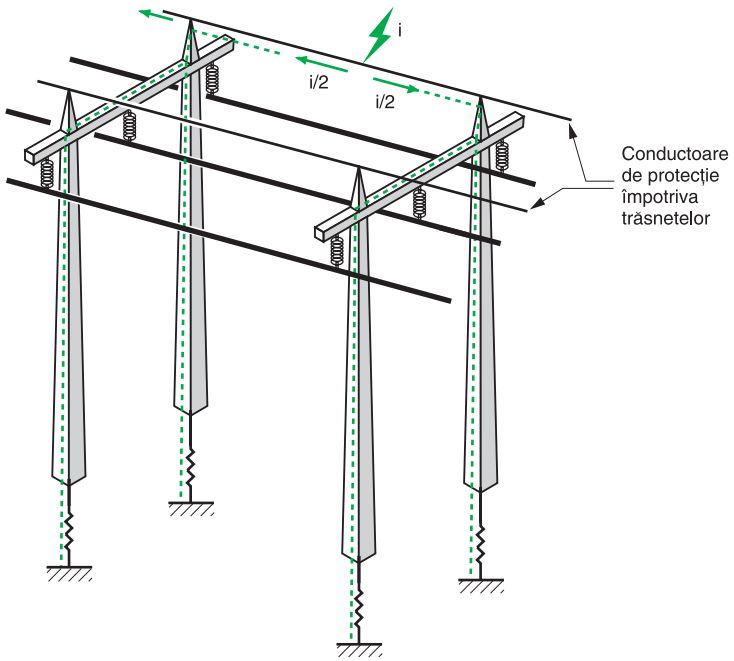



*Fig. J10: Exemplu de protecție a LEA utilizând conductoare de gardă.*

# 2 Dispozitive de protecţie împotriva supratensiunilor

*Dispozitivele de protecţie primară împotriva trăsnetelor precum conductoarele orizontale sau zăbrelele metalice sunt utilizate pentru protecţia împotriva loviturilor directe de trăsnet. Aceste dispozitive de protecţie nu previn apariţia efectelor secundare distructive asupra echipamentelor. De exemplu creşterea potenţialului pământului sau inducţia electromagnetică datorată scurgerii curentului către pământ. Pentru reducerea efectelor secundare în reţelele telefonice şi electrice trebuiesc montaţi descărcători de joasă tensiune.*

### Zăbrele metalice (cuşca Faraday)

Principiul este utilizat pentru clădiri foarte sensibile adăpostind calculatoare sau producţie de circuite integrate. El constă în multiplicarea simetrică a numărului de coborâri pe exteriorul clădirii. Se adaugă legături orizontale suplimentare dacă clădirea este înaltă; de exemplu la fiecare două etaje (vezi **Fig. J11**). Conductoarele verticale sunt legate la pământ şi între ele. Rezultatul este o serie de zăbrele de 15 x 15 m sau 10 x 10 m. Aceasta înseamnă o legătură echipotenţială mai bună a clădirii care divizează curenţii de trăsnet, reducând considerabil câmpul electromagnetic şi inducţia.

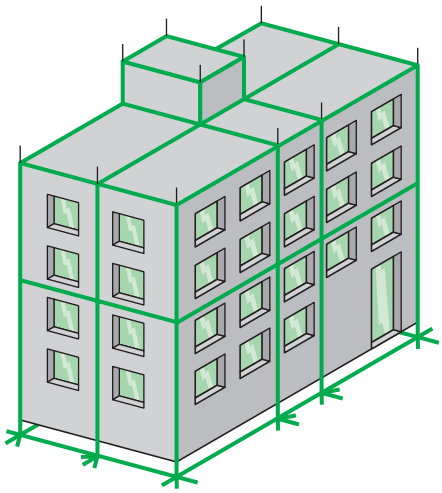


***Fig. J11:*** *Exemplu de protecţie a unei clădiri utilizând principiul zăbrelelor metalice (cuşca Faraday).*



*Dispozitivele de protecţie secundară sunt clasate în două categorii: dispozitive de protecţie montate în serie şi dispozitive de protecţie montate în paralel.*
*Dispozitivele de protecţie montate în serie sunt specifice unor sisteme sau aplicaţii.*
*Dispozitivele de protecţie montate în paralel sunt utilizate pentru reţele electrice, reţele telefonice, reţele de comandă.*

## 2.2 Dispozitive de protecţie secundară (protecţia instalaţiilor interioare împotriva trăsnetului)

Acestea tratează efectele supratensiunilor tranzitorii atmosferice, de comutaţie sau de frecvenţă industrială. Ele pot fi clasificate după felul în care sunt conectate în instalaţii: în serie sau în paralel.

### Dispozitivele de protecţie conectate în serie

Acestea sunt conectate în serie cu conductoarele electrice ale sistemului care trebuie protejat (vezi **Fig. J12**).

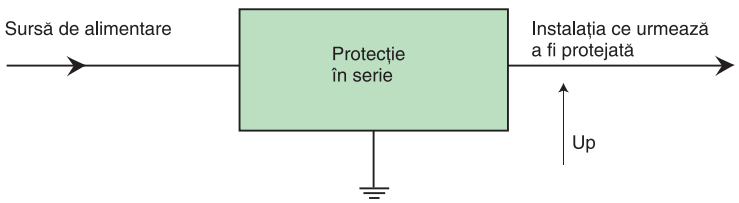



***Fig. J12:*** *Principiul protecţiei în serie.*

**Transformatoarele**
Acestea reduc vârfurile de tensiune prin efectul inducţiei şi elimină câteva armonici datorită modului de realizare a conexiunilor. Această protecţie nu este foarte eficientă.

**Filtrele**
Bazate pe componente precum rezistenţe, inductanţe sau condensatori, ele sunt potrivite împotriva supratensiunilor de comutaţie sau a celor de frecvenţă industrială, corespunzătoare unei benzi de frecvenţă bine definită. Aceste protecţii nu sunt potrivite pentru perturbaţii atmosferice.

**Amortizoare de undă**
Sunt fabricate în principiu din bobine în aer care limitează supratensiunile şi descărcători care absorb curenţii. Ele sunt potrivite pentru protejarea electronicii sensibile sau a computerelor, acţionând numai asupra supratensiunilor. Totuşi aceste aparate sunt masive şi scumpe.

**Condiţionerele de reţea şi sursele neîntreruptibile statice (UPS)**
Aceste dispozitive sunt utilizate pentru protecţia echipamentelor sensibile precum calculatoarele, care solicită energie de cea mai bună calitate. Ele pot fi folosite pentru reglajul frecvenţei şi tensiunii, eliminarea interferenţelor şi asigurarea continuităţii în alimentarea cu energie electrică, chiar în cazul dispariţiei tensiunii (pentru UPS).
Pe de altă parte, aceste dispozitive nu oferă protecţie împotriva supratensiunilor atmosferice şi, deci, este în continuare necesară utilizarea descărcătorilor.

## Dispozitivele de protecţie conectate în paralel

**Principiu**
Dispozitivele de protecţie conectate în paralel se adaptează la instalaţia ce urmează a fi protejată (vezi **Fig. J13**).
Este protecţia la supratensiune cel mai des folosită.

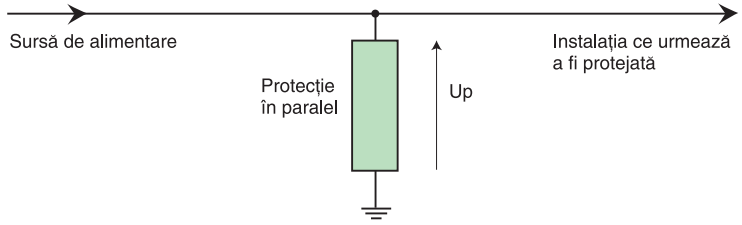



*Fig. J13: Principiul protecţiei în paralel.*

**Principalele caracteristici**
- Tensiunea nominală a dispozitivului de protecţie trebuie să corespundă tensiunii reţelei la bornele dispozitivului: 230/400 V.
- Dacă nu există supratensiuni prin dispozitiv nu se va scurge nici un curent către pământ.
- La apariţia unei supratensiuni de o valoare mai mare decât un prag reglabil în instalaţia ce urmează a fi protejată, dispozitivul de protecţie conduce supratensiunea la pământ limitând tensiunea la nivelul de protecţie dorit Up (vezi **Fig. J14**).

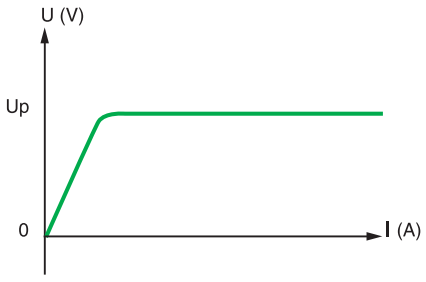



*Fig. J14: Curbă tipica U/I a unui dispozitiv de protecţie ideal.*

Când supratensiunea dispare, dispozitivul de protecţie nu mai conduce şi se reîntoarce la starea inactivă. Aceasta este caracteristica ideală tensiune/curent:
- timpul de răspuns al dispozitivului de protecţie ($t_r$) trebuie să fie cât de scurt posibil, pentru protecţia cât mai rapidă a instalaţiei;
- dispozitivul de protecţie trebuie să aibă capacitatea de a conduce energia previzibilă a supratensiunilor ce ar putea să apară;
- descărcătorul trebuie să reziste la curentul nominal $I_n$.

# 2 Dispozitive de protecţie împotriva supratensiunilor

**Produsele utilizate**

■ Limitatoare de tensiune

Sunt utilizate în posturile de transformare MT/JT la bornele JT ale transformatorului în schema de tratare a neutrului IT. Ele pot conduce supratensiunile tranzitorii către pământ, în special cele de frecvenţă industrială (vezi **Fig. J15**).

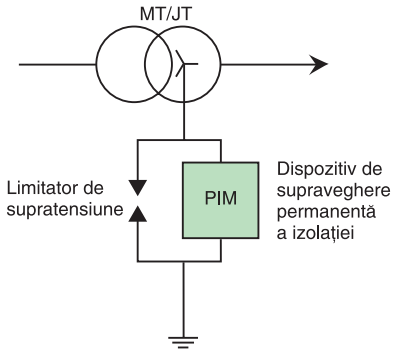



***Fig. J15:*** *Limitator de tensiune.*

■ Descărcătoare de JT

Acest termen desemnează dispozitive foarte diferite, în funcţie de tehnologia constructivă aplicată. Descărcătoarele de JT le găsim sub formă de module gata de instalat în dulapurile de distribuţie de JT. Pot fi debroşabile şi pot proteja doar puncte specifice. Ele asigură protecţie secundară elementelor vecine dar capacitatea de scurgere este destul de mică. Există variante înglobate în receptoarele electrice care însă nu pot proteja împotriva supratensiunilor puternice.

■ Descărcătoare de JT pentru curent redus

Acestea protejează liniile telefonice sau de comunicaţie împotriva supratensiunilor atmosferice şi de comutaţie. Şi acestea sunt instalate în cutii de distribuţie sau înglobate în receptoarele electrice.

# 3 Standarde

## 3.1 Descrierea unui descărcător

Un descărcător este un dispozitiv care limitează supratensiunile tranzitorii și conduce curenții la pământ pentru a reduce amplitudinea supratensiunilor la o valoare nepericuloasă pentru instalațiile și echipamentele electrice. Descărcătorii conțin componente neliniare cum ar fi de exemplu varistorii.
Descărcătorii elimină supratensiunile propagate:
- în modul obișnuit: fază/pământ sau neutru/pământ;
- în modul diferențial: fază/neutru.

Cand tensiunea depășește pragul $U_c$, descărcătorul conduce energia spre pământ în modul comun. În modul diferențial energia este direcționată către un alt dispozitiv conductor.
Descărcătoarele au o protecție termică internă, care protejază împotriva aprinderii la sfârșitul perioadei de viață. Gradual, de-a lungul funcționării normale, după câteva cicluri de funcționare, descărcătorul se degradează și se transformă într-un dispozitiv conductor. Un indicator inclus informează utilizatorul despre apropierea sfârșitului ciclului de exploatare.
Anumiți descărcători transmit aceste informații la distanță.
Protecția împotriva scurtcircuitelor este asigurată de către întreruptorul automat extern.

## 3.2 Standarde de produs

**Standardul internațional CEI 61643-1**
Dispozitive de protecție împotriva supratensiunilor conectate la rețelele de distribuție.
Acest standard recent (2002) este bazat pe trei standarde de produs: VDE0675, NF C 61740/95 și UL1449. Sunt definite trei clase:
- Clasa 1 de test: dispozitivele conduc curentul de descărcare nominal (In), impulsuri de forma 1,2/50 și curentul de impuls $I_{imp}$;
- Clasa 2 de test: dispozitivele conduc curentul de descărcare nominal (In), impulsuri de forma 1,2/50 și curentul de descărcare $I_{max}$;
- Clasa 3 de test: dispozitivele conduc impulsuri de forma 1,2/50 sau 8/20.

Cele trei clase de test nu pot fi comparate, fiecare având originea în altă țară, cu propriile specificații. Fiecare fabricant se referă la una din cele trei clase.

## 3.3 Datele tehnice ale unui descărcător în conformitate cu cu standardul CEI 61643-1

- **Descărcător (SPD, Surge Protection Device):** dispozitiv care trebuie să limiteze supratensiunile tranzitorii și să conducă curenții de scurgere. Ei conțin cel puțin o componentă neliniară.
- **Clasele de test:** clasificarea descărcătorilor după clasa de testare.
- **$I_n$:** curentul de descărcare nominal, reprezintă valoarea de vârf a impulsului de curent având forma de undă de 8/20 µs, care circulă prin descărcător. Este utilizat în clasificarea descărcătorilor pentru clasă 2 de test și pentru condiții inițiale pentru clasa 1 și 2 de test.
- **$I_{max}$:** curentul de descărcare pentru clasa 2 de test, este valoarea de vârf a curentului cu o forma de undă de 8/20 µs care circulă prin descărcător și cu o magnitudine conformă cu secvența de test operațional pentru clasa 2; $I_{max}$ este mai mare decat $I_n$.
- **$I_c$:** curentul de scurgere sau curentul de operare permanent, este curentul care se scurge prin descărcător atunci când este alimentat la tensiunea operațională de ținere ($U_c$) pentru fiecare mod. $I_c$ corespunde sumei curenților care circulă prin descărcător și prin celelalte circuite în paralel cu acesta.
- **$I_{imp}$:** curentul de impuls, este definit utilizând un curent de vârf ($I_{vârf}$), și sarcina “Q” și testată în conformitate cu secvența de test operațional. Este utilizat pentru clasificarea descărcătorilor pentru clasă 1.
- **$U_n$:** tensiunea nominală a rețelei; este tensiunea de referință care definește rețeaua, exemplu 230/400 V pentru o rețea trifazică. Este utilizată de asemenea tensiunea fază-nul, notată $U_0$; valoarea $U_0$ este necesară la alegerea $U_c$.
- **$U_c$:** tensiunea de ținere permanentă, este valoarea efectivă maximă care poate fi aplicată permanent descărcătorului; este egală cu tensiunea nominală.
- **$U_p$:** tensiunea de protecție, este un parametru care caracterizează funcționarea descărcătorului prin limitarea tensiunii la bornele sale la o valoare aleasă; această valoare va fi mai mare decât valoarea maximă obținută la măsurarea tensiunii limitate.

Valorile comune pentru o rețea de **230/400 V** sunt:
**1 kV – 1,2 kV – 1,5 kV – 1,8 kV – 2 kV – 2,5 kV.**

# 3 Standarde

■ **$U_{res}$:** tensiunea reziduală, valoarea de vârf a tensiunii care apare la bornele descărcătorului în timpul procesului de trecere a curentului.
Descărcătorul este caracterizat prin $U_c$, $U_p$, $I_n$ și $I_{max}$ (vezi **Fig. J16**).
■ Pentru a testa descărcătorii fiecare țară a definit unde de curent și tensiune specifice:
☐ impuls de tensiune, exemplu pentru România: 1,2/50 µs (vezi **Fig. J17**).
☐ impuls de curent, exemplu pentru România: 8/20 µs (vezi **Fig. J18**).

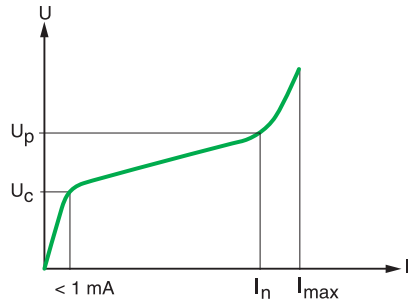



*Fig. J16: Caracteristica tensiune/curent.*

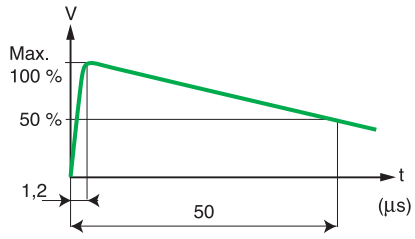



*Fig. J17: Impuls de 1,2/50 µs.*

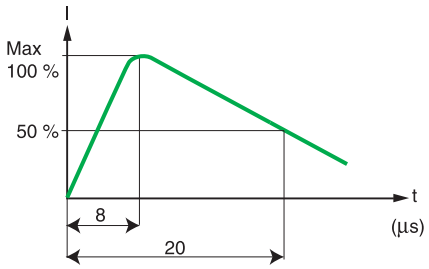



*Fig. J18: Impuls de 8/20 µs.*

☐ alte impulsuri posibile, exemplu 4/10 µs, 10/1000 µs, 10/350 µs ...
Comparația și testele asupra descărcătorilor trebuie să se facă cu aceeași formă de undă astfel încât rezultatele să fie relevante.

## 3.4 Standarde de instalare ale descărcătoarelor

■ **Internaţional**: CEI 61643-12, principii de selecţie şi montaj
■ **Internaţional**: CEI 60364, instalaţii electrice în clădiri
☐ CEI 60364-4-443: protecţie pentru garantarea securităţii
Atunci când instalaţia este alimentată sau conţine o linie electrică aeriană, trebuie prevăzut un dispozitiv de protecţie împotriva supratensiunilor atmosferice dacă indicele keraunic al amplasamentului este suficient de ridicat ($N_k$ > 25 de zile pe an cu furtuni)
☐ CEI 60364-4-443-4: alegerea echipamentului pentru instalaţii
Această secţiune ajută la alegerea nivelului de protecţie $U_p$ pentru descărcători în funcţie de receptoarele ce urmează a fi protejate. Tensiunea nominală a dispozitivelor de protecţie reziduală nu trebuie să fie mai mare decât valoarea corespunzătoare categoriei a 2-a (vezi **Tab. J19**).

| **Tensiunea nominală a instalaţiei(1) V** | | **Tensiunea nominală de impuls recomandată pentru kV** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Reţea trifazată(2) | Reţea monofazată cu punct median | Echipament în apropierea sursei (tensiune de ţinere categoria 4) | Echipament de distribuţie (tensiune de ţinere categoria 3) | Echipament de utilizare (tensiune de ţinere categoria 2) | Echipament protejat individual (tensiune de ţinere categoria 1) |
| - | 120-240 | 4 | 2,5 | 1,5 | 0,8 |
| 230/440(2) 277/480(2) | - | 6 | 4 | 2,5 | 1,5 |
| 400/690 | - | 8 | 6 | 4 | 2,5 |
| 1.000 | - | Valori sugerate de inginerii de sistem | | | |

***Tab. J19:*** *Alegerea echipamentului pentru instalaţii conform CEI 60364.*

☐ CEI 60364-5-534: alegerea şi montarea echipamentului electric
Această secţiune descrie condiţiile de instalare ale descărcătorilor:
**- în funcţie de sistemul de tratare al neutrului:** tensiunea de ţinere permanentă $U_c$ pentru un descărcător trebuie să nu fie mai mică decât tensiunea de funcţionare maximă la bornele sale.
În sistemele TT, dacă descărcătorul este pe partea sarcinii a unui RCD (dispozitiv de curent diferenţial rezidual), $U_c$ trebuie să fie egal cu 1,5 $U_0$.
În sistemele TN şi TT, dacă descărcătorul este pe partea alimentării a unui RCD (dispozitiv de curent diferenţial rezidual), $U_c$ trebuie să fie cel puţin egal cu 1,1 $U_0$.
În sistemele IT, $U_c$ trebuie să fie cel puţin egală tensiunea fază-fază U.
$U_0$ este tensiunea reţelei (între fază şi neutru) în reţelele IT, deci valori mai mari ale $U_c$ pot fi necesare.
**- în amontele instalaţiei:** dacă descărcătorul este instalat în apropierea sursei instalaţiei electrice alimentate din reţeaua electrică de distribuţie publică, curentul nominal de descărcare trebuie să fie mai mic de 5 kA.
Dacă descărcătorul este instalat în aval de un dispozitiv de protecţie reziduală de tip S, descărcătorul trebuie să fie imun la un impuls de curent mai mic de 3 kA (8/20 µs).
**- în prezenţa conductoarelor de paratrăsnet:** dacă este instalat un descărcător, trebuiesc aplicate specificaţii adiţionale pentru descărcători (vezi CEI 61024-1 şi CEI 61312-1).



***(1)*** *Conform standardului CEI 60038.*
***(2)*** *În SUA şi Canada, pentru tensiuni mai mari decât 300 V faţă de pământ, se utilizează tensiunea din rândul de jos.*

# 4 Alegerea unui dispozitiv de protecţie

## 4.1 Evaluarea riscului supratensiunilor pentru instalaţia de protejat

Pentru a determina tipul de protecţie la supratensiune necesar unei anumite instalaţii propunem următoarea metodă de evaluare a riscului. Ea ia în considerare criterii specifice amplasamentului pe de o parte şi caracteristici ale receptorilor din instalaţia ce urmează a fi protejată pe de altă parte.

**Principiu general**

Următoarele elemente trebuiesc luate în considerare atunci când evaluăm riscul:
- riscul ca zona să fie lovită de un trăsnet;
- tipul de reţea de distribuţie electrică sau tipul de reţea telefonică;
- topografia zonei;
- prezenţa unui conductor de paratrăsnet;
- echipamentul ce urmează a fi protejat;
- supratensiunile de comutaţie.

Utilizând aceste elemente se pot genera două diagnostice: ale receptoarelor ce urmează a fi protejate şi a zonei ce urmează a fi protejate.

### Diagnosticul receptoarelor ce urmează a fi protejate

Sunt date în formula următoare:
**R = S + C + I** (vezi **Tab. J20**).
Unde:

R: riscul receptoarelor
S: sensibilitatea echipamentului
C: costul echipamentului
I: consecinţele indisponibilităţii echipamentului

■ **Sensibilitatea echipamentului**

Este definită în funcţie de ţinerea la impuls de tensiune a echipamentului ce urmează a fi protejat ($U_i$):

| S = 1 | S = 2 | S = 3 |
|---|---|---|
| Echipament cu ţinere la impuls importantă (4 kV) | Echipament cu ţinere la impuls normală (2,5 kV) | Echipament cu ţinere la impuls mică (1,5 kV) |
| Dulapuri de distribuţie, prize industriale, motoare, transformatoare | Toate electrocasnicele, frigidere, cuptoare, maşini de spălat vase, unelte portabile | Echipamente cu circuite electronice, televizoare, sisteme audio, computere şi telecomunicaţii |

■ **Costul echipamentului**

| C = 1 | C = 2 | C = 3 |
|---|---|---|
| Cost redus | Cost mediu | Cost ridicat |
| < 2 kUS$ | 2 la 20 kUS$ | > 20 kUS$ |

■ **Indisponibilitatea echipamentului şi consecinţele**

Se poate accepta:

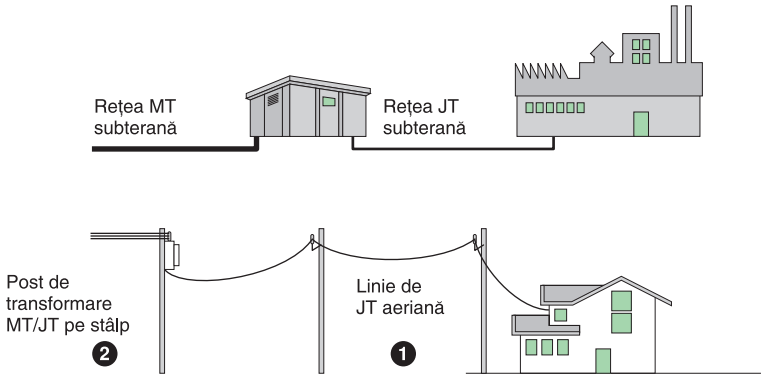
| I = 1 | I = 2 | I = 3 |
|---|---|---|
| Întreruperea totală a funcţionării (consecinţe financiare reduse) | Întreruperea parţială a funcţionării (consecinţe financiare acceptabile) | Fără întreruperea funcţionării (consecinţe financiare inacceptabile) |

*Tab. J20: Calculul riscului receptoarelor R = S + C + I.*

## Diagnosticul amplasamentului ce urmează a fi protejat

Este dat de următoarea formulă:
$E = N_g(1 + LV + MV + d)$ (vezi **Fig. J21**)
Unde:

$N_g$: densitatea loviturilor de trăsnet (numărul loviturilor/km²/an)
Aceasta poate fi obținută consultând o hartă furnizată de serviciul meteorologic. Dacă dispuneți de indicele keraunic $N_k$ (numărul de zile pe an în care este auzit tunetul) trebuie să știți că $N_g = N_k/20$
LV: lungimea în km a rețelelor electrice aeriene de JT ce alimentează instalația
MV: parametru depinzând de rețeaua de medie tensiune ce alimentează postul de transformare MT/JT
d: coeficient care ia în considerare locația liniilor aeriene și instalațiile.




**LV: lungimea în km a rețelelor electrice aeriene (conductor sau torsadat) ce alimentează instalația**

| LV = 0 | LV = 0,2 | LV = 0,4 | LV = 0,6 | LV = 0,8 | LV = 1 |
|---|---|---|---|---|---|
| Subteran sau torsadat | L = 100 la 199 m | L = 200 la 299 m | L = 300 la 399 m | L = 400 la 499 m | L > 500 m |
| | Lungimea liniei aeriene de JT ❶ | | | | |

**MV: parametru depinzând de rețeaua de medie tensiune ce alimentează postul de transformare MT/JT**

| MV = 0 | MV = 1 |
|---|---|
| Post de transformare MT/JT cu alimentare subterană | Post de transformare MT/JT cu alimentare în principal aeriană ❷ |

**d: coeficient care ia în considerare locația liniilor aeriene și instalațiile**

| d | d = 0 | d = 0,5 | d = 0,75 | d = 1 |
|---|---|---|---|---|
| Clădiri, linii MT, JT telefonice | Înconjurate de structuri | Câteva structuri în jur | Teren deschis sau plat | Pe un vârf, lângă apă, în zonă montană, lângă un conductor de paratrăsnet |

*Fig. J21: Structura rețelei de alimentare de JT, $E = N_g (1 + LV + MV + d)$.*

### Supratensiunile de comutație

Descărcătorii instalați pentru protejarea instalațiilor împotriva supratensiunilor atmosferice pot proteja și împotriva supratensiunilor de comutație.

### Conductorul de paratrăsnet

Riscul apariției supratensiunilor într-o zonă este mai mare dacă există un conductor mai înalt de 50 de metri sau o clădire în zonă.
**Notă:** O structură care este mai înaltă de 20 de metri precum coșurile de fabrică, copaci, stâlpi au același efect ca un conductor de paratrăsnet.
Standardul EN 61024-1 solicită instalarea unui descărcător în tabloul electric principal, dacă zona care urmează a fi protejată include o instalație de paratrăsnet.

# 4 Alegerea unui dispozitiv de protecţie

## 4.2 Alegerea capacităţii de scurgere a unui descărcător (pentru o reţea de JT)

După obţinerea riscurilor pentru receptoare (R) şi pentru amplasament (E), poate fi determinată capacitatea de scurgere $I_{max}$ (formă de undă 8/20) pentru un descărcător de JT:

- **Protecţia pe sosire** (vezi **Tab. J22**)
- **Protecţia secundară**

În cele două cazuri care urmează o protecţie secundară prin descărcători este necesară:

☐ dacă nivelul de protecţie ($U_p$) este prea mare faţă de tensiunea de ţinere la impuls $U_{şoc}$,

☐ dacă un echipament sensibil este la o distanţă mai mare de 30 de metri faţă de descărcătorul instalat pe sosire.

În acest caz un descărcător de 8 kA trebuie instalat într-un tablou secundar şi în apropiere de sarcinile sensibile.

| | I =1 | I =2 | I = 3 |
|---|---|---|---|
| **R = 8 sau 9** | 30 - 40 kA | 65 kA | 65 kA |
| **R = 6 sau 7** | 15 kA(1) | 30 - 40 kA | 65 kA |
| **R ≤ 5** | 15 kA(1) | 15 kA(1) | 30 - 40 kA |

***Tab. J22:*** *Alegerea capacităţii de scurgere a unui descărcător.*

## 4.3 Alegerea descărcătorului în funcţie de sistemul de tratare a neutrului (vezi **Tab. J23**)

| **Tratarea neutrului** | **TT** | **TN-S** | **TN-C** | **IT** |
|---|---|---|---|---|
| **Valoarea $U_c$ în modul obişnuit** (fază-pământ, neutru-pământ) | ⩾ 1,5 $U_o$ | ⩾ 1,1 $U_o$ | ⩾ 1,1 $U_o$ | ⩾ 1,732 $U_o$ |
| **Valoarea $U_c$ în modul diferenţial** (fază-neutru) | ⩾ 1,1 $U_o$<br>15 kA(1) | ⩾ 1,1 $U_o$<br>30-40 kA | | ⩾ 1,1 $U_o$ |

$U_0$: tensiunea reţelei între fază şi neutru (230/240 V).
$U_c$: tensiunea de ţinere în regim permanent.

***Tab. J23:*** *Valorile $U_c$ conform standardului internaţional CEI 60364-5-534.*

Alegerea descărcătorilor în funcţie de sistemul de tratare a neutrului.
Oferta Merlin Gerin: PRD-PF-PE

| **Tratarea neutrului** | | **TT** | **TN-S** | **TN-C** | **IT neutru distribuit** | **IT neutru nedistribuit** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **$U_c$** (reţea) Tensiunea completă | | 345/360 V | 345/264 V | 253/264 V | 380/415 V | 380/415 V |
| **Descărcători debroşabili** | | | | | | |
| | CM<br>$U_c$ = 275 V | | | 1P | | |
| | CM<br>$U_c$ = 440 V | | | 3P | | 3P |
| | CM/DM<br>$U_c$ = 440/275 V | 1P + N<br>3P + N | 1P + N<br>3P + N | | 1P + N<br>3P + N | |
| **Descărcători în montaj fix** | | | | | | |
| **PF30 - 65 kA** | CM<br>$U_c$ = 440 V | 1P + N<br>3P + N | 1P + N<br>3P + N | | 1P + N<br>3P + N | |
| **PF8 - 15 kA** | CM/DM<br>$U_c$ = 440/275 V | 1P + N<br>3P + N | 1P + N<br>3P + N | | 1P + N<br>3P + N | |
| **PE** | CM<br>$U_c$ = 440 V | | | 1P<br>3 x 1P | | 3 x 1P |

Completaţi alegerea cu următoarele elemente:

- dacă este necesar, transmiterea la distanţă a stării de uzură a descărcătorului;
- un întreruptor automat pentru protejarea şi deconectarea descărcătorului.

***(1)*** *Riscul este scăzut, oricum dacă se doreşte instalarea unui descărcător este recomandat modelului cu $I_{max}$ = 15 kA.*

## 4.4 Alegerea unui întreruptor automat pentru protejarea descărcătorului (vezi **Tab. J24**)

După alegerea descărcătoarilor necesari pentru protecția instalației, întreruptorul automat pentru protejarea descărcătoarilor poate fi ales utilizând tabelul de mai jos:
- capacitatea de rupere trebuie să fie compatibilă cu curentul de scurtcircuit din instalație;
- fiecare conductor activ trebuie protejat, exemplu un descărcător 1P+N trebuie asociat cu un întreruptor automat bipolar (doi poli protejați).

| Curentul de scurgere max. pentru descărcător | Întreruptor automat | |
|---|---|---|
| | Calibru | Curbă |
| 8-15-30-40 kA | 20 A | C |
| 65 kA | 50 A | C |

***Tab. J24:*** *Alegerea unui întreruptor automat pentru protejarea descărcătorului.*

# Capitolul K
# Eficiența energetică în distribuția electrică

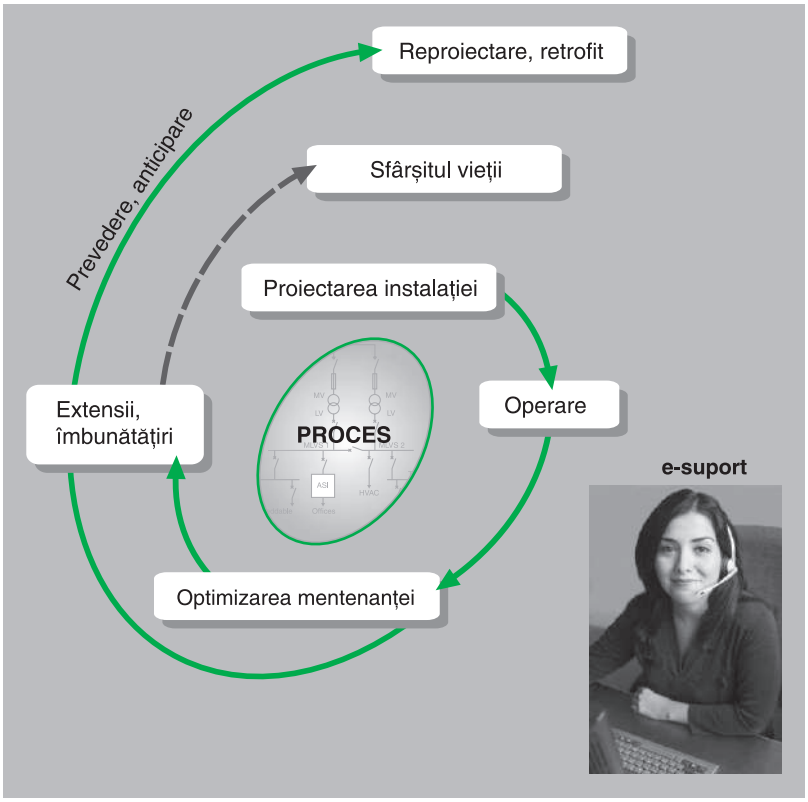
## Cuprins


| | | |
|---|---|---|
| 1 | **Introducere** | **K2** |
| 2 | **Eficiența energetică și electricitatea** | **K3** |
| | 2.1 Lumea este acum pregatită pentru programe și acțiuni legate de eficiența energetică | K3 |
| | 2.2 O nouă provocare: date electrice | K4 |
| 3 | **Un proces, câțiva participanți** | **K5** |
| | 3.1 Eficiența energetică necesită o abordare antreprenorială | K5 |
| | 3.2 Studii de competitivitate economică | K6 |
| | 3.3 Variatele profiluri și misiuni ale participanților din cadrul companiei | K8 |
| 4 | **De la măsurători electrice la informații electrice** | **K10** |
| | 4.1 Achiziția valorilor fizice | K10 |
| | 4.2 Date electrice pentru obiective reale | K11 |
| | 4.3 Măsurătorile încep cu produse autonome cu funcții de măsură suplimentare | K13 |
| 5 | **Sistem de informare și comunicare** | **K16** |
| | 5.1 Rețeaua de comunicație la nivelul produsului, echipamentului și amplasamentului | K16 |
| | 5.2 De la sistemul de control și monitorizare rețea până la echipamentul de putere inteligent | K19 |
| | 5.3 Suportul web (e-suport) devine accesibil | K21 |

# 1 Introducere

*Anumite informații din acest capitol sunt preluate din ghidul publicat de Carbon Trust (www.carbontrust.co.uk) GPG119 și GPG231.*

Sistemele de control și monitorizare a energiei pot aduce un mare beneficiu pentru proprietarul rețelei electrice ca și componenta strategică în abordarea globală "Eficiența Energetică".
Costul total al deținerii (TCO, Total Cost of Ownership) unei rețele electrice include nu numai investiția inițială în echipament ci și performanțele economice în operare. Responsabilul cu securitatea muncii, responsabilul cu consumul de energie, șeful electrician sau managerul administrativ al locației sunt cu toții din ce în ce mai interesați. Profilul variază, dar o parte din munca tuturor acestor oameni include managementul atent al consumului de electricitate, condițiile de achiziție a electricității și rețeaua care o distribuie.
Mai puține întreruperi costisitoare pentru afacerile companiei, mai puțin consum nejustificat, operații de mentenanță reduse la necesarul corect, acestea sunt obiective ce implică decizii pentru care este util un sistem de "Eficiența Energetică" capabil să furnizeze date oricărei persoane ce are nevoie de ele, indiferent de profil. Astăzi apropiindu-ne de abordarea "Eficiența Energetică" nu înseamnă să creăm un sistem complex și costisitor. Câteva caracteristici simple sunt cu adevărat abordabile cu o eficiență foarte bună deoarece ele sunt incluse ca funcțiuni direct în echipamentul de putere.
Odată ce o instalație electrică este echipată cu funcții de măsură, ea poate utiliza mediul de comunicație Intranet al utilizatorului. Operațiile adiționale nu necesită aptitudini specifice sau training, ci doar un software "License Free" cum ar fi un browser Internet.
Evolutivitatea sau e-serviciile prin Internet sunt de asemenea o realitate de astăzi, bazate pe noile tehnologii derivate din lumea comunicațiilor și biroticii. Decizia de a profita de aceste noi posibilități poate fi în viitor din ce în ce mai mult un factor de diferențiere.



# 2 Eficiența energetică și electricitatea

## 2.1 Lumea este acum pregatită pentru programe și acțiuni legate de eficiența energetică

Prima mare mișcare a fost inițiată de protocolul de la Kyoto din 1997, reînoit în 2006. Această extrem de cunoscută înțelegere cere țărilor semnatare o reducere colectivă a emisiilor de gaze ce provoacă efectul de seră cu o medie anuală de aproximativ 5 procente sub nivelul din 1990 pe perioada 2008-2012.
Protocolul este bazat pe trei mecanisme primare de piață.

- Mecanismul de dezvoltare curată (Clean Development Mechanism, CDM), întelegere pentru ca reducerile să fie “sponsorizate” și în țările fără obiective în reducerea emisiilor.
- Implementare reunită (Joint Implementation), program care permite țărilor industrializate să-și îndeplinească obiectivele privind reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră prin participarea la proiecte care reduc emisiile în alte țări.
- Tranzacționarea emisiilor, mecanism prin care o parte cu angajamente privind emisiile poate tranzactiona unități de emisie ce îi sunt permise cu altă parte pentru că emite mai puțin decât are dreptul. Aceasta este așa numita piață de carbon (carbon market).

În toate zonele geografice, la nivel de țară, regiune, federație s-au lansat programe, acțiuni, reglementări :

- reglementări și standarde întărite în Europa (vezi **Fig. K1**);
- proiecte și inițiative în Asia;
- programe dedicate în Statele Unite.

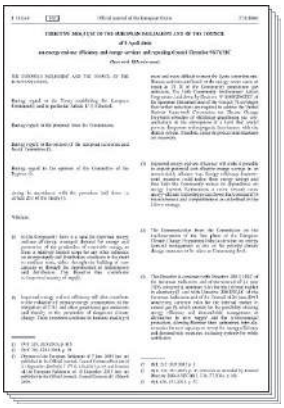


***Fig. K1:*** *Directiva consiliului parlamentului European 2006/32/CE datată 5 Aprilie 2006 relativ la Eficiența Energetică pentru utilizatori finali și servicii legate de energie.*

*ISO 14001 definește principiile și procesele necesare pentru reducerea permanentă a consumurilor de energie și a emisiilor poluante în orice organizație.*

Motivațiile pentru dezvoltarea unor programe de eficiență energetică - în special pentru forma electrică a energiei - sunt din ce în ce mai puternice. Planul de eficiență energetică este acum o prioritate pentru un număr din ce în ce mai mare de companii:

- Clădirile sunt cel mai mare consumator de energie și o țintă prioritară;
- Deoarece costul energiei s-a dublat în ultimii trei ani, economiile de electricitate au devenit o sursă de productivitate semnificativă pentru industrie;
- Economia energiei este acum parte a angajamentului social al corporațiilor, pentru cele mai multe companii;
- Cum rețelele de productie și distribuție se află sub presiunea crescută a creșterii cererii și diminuării resurselor, disponibilitatea energiei este o problemă pentru industriile grav afectate de consecințele întreruperilor;
- Sectorul rezidențial este un sector cheie din ce în ce mai afectat.

# 2 Eficiența energetică și electricitatea

## 2.2 O nouă provocare: date electrice

Toate caracteristicile dezvoltărilor curente conduc la apariția “Noii lumi electrice” în care considerațiile cheie vor fi:

- controlul riscurilor legate de întreruperile în alimentarea cu energie;
- restricțiile energetice sau eficiența și controlul costurilor; prețul MWh a crescut între 2003 și 2006 de la 30 la 60 € pentru piața europeană;
- sursele de energie regenerabile;
- mediul înconjurător și dezvoltarea durabilă.

Electricitatea va fi folosită mai inteligent și mai rațional pentru a contribui în egală măsură la competitivitatea companiilor, independența lor energetică și la protecția mediului. Noile reguli de bază obligă factorii de decizie din cadrul companiilor să aloce noi resurse și să investească în produse și servicii pentru a aborda astfel consumul de energie.

În particular înființarea unui sistem de informații global în cadrul companiei va permite datelor electrice să fie transmise și utilizate și controlate în timp real pentru (vezi **Fig. K2**):

- predicția indisponibilității rețelelor electrice;
- înregistrarea calității energiei electrice;
- optimizarea consumului pe clădire, sector, unitate, atelier, locație, evitarea consumului excesiv sau variațiilor anormale. Vom avea deci toate datele necesare pentru a face economii reflectate direct în factura de energie. Utilizatorii finali vor profita deci de avantajul monitorizării rețelei electrice pentru a evita pierderile și pentru a alimenta cu energie de calitate acolo unde este cu adevărat necesar;
- organizarea mentenanței echipamentelor electrice;
- o achiziție mai bună a energiei electrice și în anumite cazuri o mai bună revânzare.

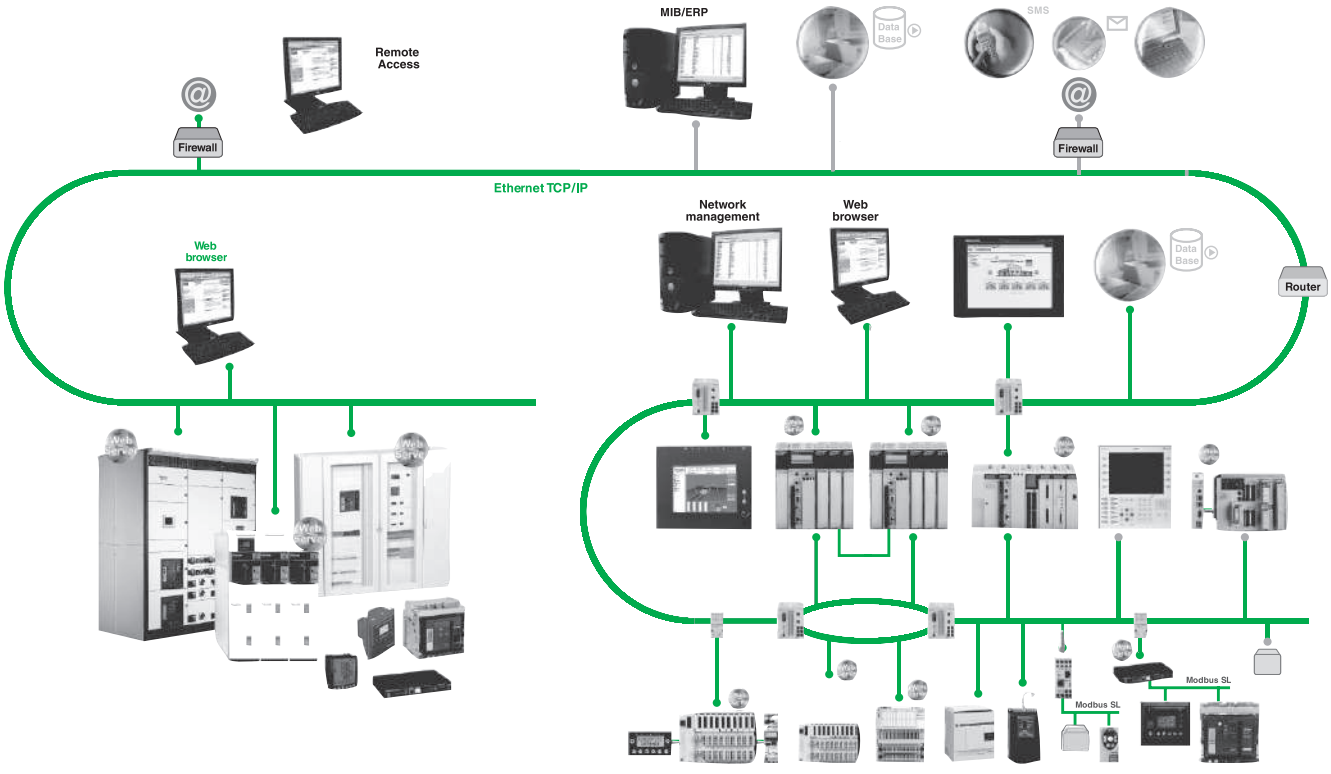



*Fig. K2: Soluțiile Schneider Electric pentru controlul instalațiilor electrice.*

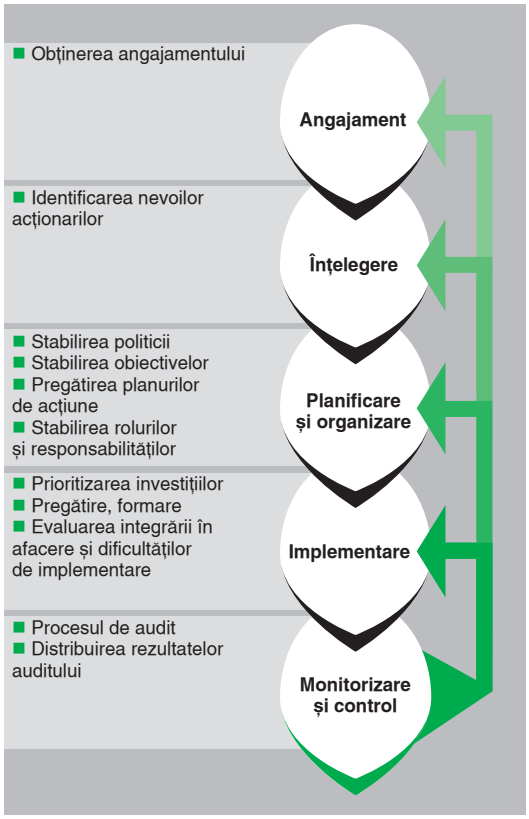



*Fig. K3: O abordare pas cu pas pentru organizarea managementului energiei.*

## 3.1 Eficiența energetică necesită o abordare antreprenorială

Un sistem de informații trebuie integrat în abordarea globală a companiei.

Următoarea abordare pas cu pas pentru organizarea managementului energiei (așa cum este arătată în **Fig. K3**) este o metodă structurată pentru conducerea proiectelor și atingerea rezultatelor. Poate fi aplicată atât în cazurile simple cât și în cele complicate și a dovedit în timp că este în același timp robustă și practică. Referitor la filozofia 6 Sigma - Definește, Măsoară, Analizează, Îmbunătățește, Controlează - nu poți îmbunătăți ceea ce nu măsori.

**Obținerea angajamentului**
Pentru a demara acțiuni în domeniul eficienței energetice este esențial sprijinul majorității persoanelor de decizie ale colectivului de conducere ca individualități și ca parte structurală a organizației.

**Întelegerea începe cu:**
- studiul nivelurilor curente ale consumului de energie și costurilor aferente;
- examinarea modurilor în care energia este utilizată;
- stabilirea standardelor pentru consumul eficient de energie în organizație;
- analizarea posibilității reducerii costurilor prin reducerea consumului așa încât să poată fi fixate obiective rezonabile;
- identificarea efectelor consumului de energie asupra mediului înconjurator.

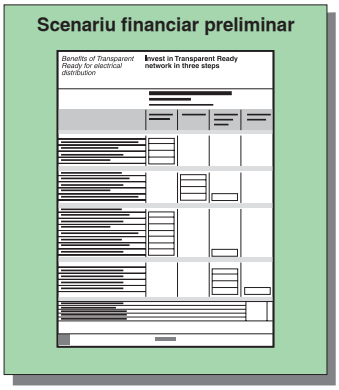
**Planificare și organizare**
Primul pas ar trebui să fie elaborarea unei politici energetice adecvate organizației. Prin dezvoltarea și difuzarea acestei politici conducerea organizației arată angajamentul față de obiectivul excelenței în managementul energiei. Aceasta trebuie făcută în spiritul culturii organizației pentru a obține cel mai bun efect.

**Implementare**
Toți angajații ar trebui să fie implicați în implementarea politicii energetice. Oricum pentru a ușura o abordare structurată începutul se face prin a repartiza responsabilități speciale unor persoane sau grupuri.

**Control și monitorizare**
Fiecare proiect trebuie să aibă un sponsor - o persoană sau un grup cu responsabilitate asupra ansamblului eforturilor de monitorizare și organizarea lor pentru obținerea rezultatelor așteptate. Încă o data Sistemul de Informații legat de utilizarea energiei electrice și impactul său asupra activității de bază a companiei va susține acțiunile sponsorului.
Conducerea organizației trebuie să sublinieze importanța proiectelor prin solicitarea unor rapoarte regulate asupra progreselor obținute și prin publicarea și sprijinirea succeselor, ceea ce poate susține motivațiile și angajamentul individual.
Matricea managementului energiei:



| Nivel | Politica energetică | Organizare | Motivare | Sistem de informații | Marketing | Investiții |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | Politica energetică, planuri de acțiune și revizii regulate cu angajamentul conducerii intreprinderii ca parte a strategiei de mediu | Managementul energiei deplin integrat în structura de conducere. Responsabilități clar delegate în ceea ce privește consumurile energetice | Canale de comunicare regulate, formale sau informale, folosite de managerul energetic și de echipa lui la toate nivelurile | Sistem cuprinzător de monitorizare consum, identificarea defectelor, relevarea economiilor și alocare buget | Suport marketing pentru valorile eficienței energetice și performanța managementului energetic în organizație și în afară | Discriminare pozitivă în favoarea soluțiilor "verzi" cu evaluarea detaliată a investițiilor cu ocazia construcțiilor noi sau renovărilor |
| 2 | Politica propusă de managerul energetic sau șeful departamentului electric neadoptată | Post de manager energetic, raportând unui comitet ad-hoc dar cu liniile directoare și autoritatea neclară | Contacte cu principalii utilizatori prin comitete ad-hoc prezidate de responsabilul departamentului | Monitorizare și rapoarte bazate pe datele achiziționate Responsabilii energetici sunt implicați în stabilirea bugetului | Câteva formări ad-hoc în domeniul eficienței energetice | Numai investiții utilizând criteriul amortizării rapide |
| 0 | Fără politică explicită | Fără management energetic sau fără delegare formală a responsabilităților pentru consumurile energetice | Fără contacte cu utilizatorii | Fără sistem de informații Fără contabilizarea consumurilor energetice | Fără promovarea eficienței energetice | Fără investiții în creșterea eficienței energetice în imobil |


Scenariu financiar preliminar
Benefits of Transparent Ready for electrical distribution
Invest in Transparent Ready network in three steps

## 3.2 Studii de competitivitate economică

Un sistem de informații asupra eficientei energetice legat de utilizarea electricității trebuie privit și din punct de vedere economic pentru a asigura îndeplinirea obiectivului de creștere a competitivității economice.
Studiul economic depinde în principal de alocarea unei valori financiare consumului de electricitate, pierderilor operaționale legate de indisponibilitatea energiei și costurilor de mentenanță, în scopul exploatării optime a instalației electrice.

**Stadiu preliminar: evaluarea situației curente și efectuarea unui studiu financiar (Figura K4)**
Nevoia unei instalații de măsură este justificată prin câștigurile pe care le poate genera. O soluție care acoperă întreaga instalație reprezintă o îmbunătățire majoră a competitivității companiei dar implică o echipă dedicată pentru exploatarea noilor capacități.

**Exemplu:**
Figura de mai jos este un exemplu pentru calculul amortizării investiției - disponibilă în format Excel pe www.trensparentready.com.

| Company data / 00000 Automatic calculation | Contributing factors | Savings per Item | Savings / Investment per category | Total savings or investment |
|---|---|---|---|---|
| **Background: your organisation's characteristics** | | | | |
| Annual revenues | 100.000.000 € | | | |
| Net profit (%) | 10 % | | | |
| Annual work hours (hours/day x days/week x weeks/year) | 1.950 hrs | | | |
| Average hourly wage (loaded rate) | 75 € | | | |
| Annual electrical energy costs | 1.000.000 € | | | |
| Interest rate | 15 % | | | |
| Corporate tax rate | 30 % | | | |
| **Annual energy cost savings potential** | | | | |
| Reduction in energy usage (% estimated) | 10 % | | | |
| Reduction in energy usage | | 100.000 € | | |
| Reduction in demand charges | | 20.000 € | | |
| Power factor penalties avoided | | 20.000 € | | |
| Energy billing errors avoided | | 5.000 € | | |
| Energy costs allocated to tenants | | 0 € | | |
| Annual energy cost savings | | 145.000 € | | |
| **Downtime cost avoidance potential** | | | | |
| Number of downtime events per year | 2 | | | |
| Hours of downtime per event | 1,5 ore | | | |
| Hours to recovery per downtime event | 2 ore | | | |
| Employees idled per downtime event | 250 | | | |
| Manufacturing employees required for line start-up | 10 | | | |
| IS employees required for computer system recovery | 2 | | | |
| Reduction in equipment replacements (e.g., transformers) | | 25.000 € | | |
| Reduction in scrapped products or parts | | 50.000 € | | |
| Corporate profit increase | | 15.385 € | | |
| Increase in productive work hours | | 56.250 € | | |
| Reduction in computer system recovery hours | | 600 € | | |
| Reduction in manufacturing line start-up costs | | 3.000 € | | |
| Annual downtime cost avoidance | | | 150.235 € | |
| **Operations & maintenance savings potential** | | | | |
| Employees assigned to manually read meters | 3 | | | |
| Employees assigned to maintenance | 2 | | | |
| Employees assigned to energy data analysis | 2 | | | |
| Activity-based costing savings (e.g., equipment or process removal) | | 50.000 € | | |
| Equipment maintenance savings | | 10.000 € | | |
| Automatic meter reading | | 7.875 € | | |
| Fewer maintenance inspections | | 2.250 € | | |
| Fewer hours for data analysis | | 10.500 € | | |
| Operations & maintenance savings | | | 80.625 € | |
| Total annual gross savings potential | | | | 375.860 € |
| **Transparent Ready system investment** | | | | |
| Number of buildings where energy is to be managed | 2 | | | |
| Metering devices, main/critical feeders, per building | 10 | | | |
| Metering devices, non-critical feeders, per building | 15 | | | |
| Metering devices, simple energy usage, per building | 15 | | | |
| Device costs | | | 125.000 € | |
| Software costs | | | 15.000 € | |
| Computer equipment costs | | | 8.000 € | |
| Installation | | | 160.000 € | |
| Configuration | | | 8.000 € | |
| Training | | | 3.500 € | |
| Support contract | | | 14.338 € | |
| Total system investment | | | | 333.838 € |
| **ROI summary** | | | | |
| Invested capital | | | | -333.838 € |
| Gross annual savings | | | | 375.860 € |
| Yearly depreciation | | | | -66.768 € |
| Corporate tax | | | | -112.758 € |
| Net annual savings (after taxes and depreciation) | | | | 196.334 € |
| Payback period (before tax & dep) (in months) | | | | 11 |
| Payback period (after tax & dep) (in months) | | | | 20 |
| Net present value | | | | 324.304 € |
| Discounted return on investment (NPV / Invested Capital) | | | | 97 % |

*Fig. K4: Exemplu pentru calculul amortizării investiției.*

*Investiți în trei pași:*
*1 - Formulați prioritățile;*
*2 - Definiți mărimile electrice cheie;*
*3 - Selectați componentele.*

**Pasul 1 : formularea priorităţilor**
Fiecare obiectiv industrial sau terțiar are propriile sale cerințe și o arhitectură de distribuție electrică specifică. În funcție de cerințele obiectivului se determină aplicația de eficienţă energetică adecvată (**Tab. K5**):

| Obiective | Aplicaţii |
|---|---|
| Optimizarea consumului | Alocarea costurilor |
| | Analiza utilizării energiei |
| | Pompe și ventilatoare pentru industrie și înfrastructură<br>Pompe și ventilatoare pentru clădiri |
| | Control iluminat |
| Optimizarea achiziției de energie | Reducerea vârfului de putere |
| | Optimizarea alimentării cu energie |
| | Subfacturarea |
| Îmbunătățirea eficienței echipelor însărcinate cu exploatarea instalațiilor electrice | Jurnal de evenimente și alarme de distribuție electrică |
| Îmbunătățirea disponibilității și calității energiei | Teleconducerea rețelei de distribuție electrică<br>Automatizarea rețelei de distribuție electrică |
| Optimizarea activelor | Analiza statistică a utilizării echipamentului - Compensarea energiei reactive |

***Tab. K5:*** *Obiective și aplicații.*

**Pasul 2 : definirea mărimilor electrice cheie**
- Odată ce am formulat prioritățile, putem defini mărimile electrice cheie ce trebuiesc incluse în sistemul de măsură.
- Parametrii luați în considerare trebuie să permită detectarea unei perturbaţii sau a unui fenomen similar imediat după apariție, în alte cuvinte înainte să aibă un efect în detrimentul instalațiilor electrice și consumatorilor curenți.
- Metoda include instalarea de dispozitive adecvate pe fiecare plecare implicată și într-un centru de coordonare în așa fel încât să existe o vedere de ansamblu asupra instalației. Oricum trebuiesc identificați consumatorii vitali pentru afacerile companiei și de asemenea procesele costisitoare pentru a fi luate în considerare ca informații în cadrul soluției.

*Exemplu: Dacă aplicația este mare consumatoare de electricitate și nu prea sensibilă la calitate, sistemul de măsură implică produsele de măsură adecvate. În același sens o aplicație sensibilă din punct de vedere al calității energiei solicită produse de măsură diferite.*

**Pasul 3 : selecţia componentelor**
Pentru instalaţii existente: câteva din echipamentele dumneavoastră includ deja funcţii de măsură.

*Exemplu: Releele de protecție includ adesea funcții de măsură. Trebuie doar să stabiliți comunicația printr-o rețea serială Modbus către site-ul intranet.*

## 3.3 Variatele profiluri și misiuni ale participanților din cadrul companiei

Punerea la punct a unui sistem de colectare a informațiilor va permite accesul la date importante ale echipamentelor electrice și trebuie să implice în egală măsură personalul IT și cel cu profil electric, care prin definiție se află în departamente diferite ale companiei (**Tab. K6** și **Fig. K7**).

*Exemplu: Tabelul de mai jos arată câteva poziții într-un supermarket. Mai pot fi implicate și alte poziții cum ar fi Departamentul Administrativ, Șefii de ateliere sau Responsabilii tehnici.*

| Poziție | Dep. | Cunoștințe | Rol | Date afișate | Când? | Formatul datelor |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Personal de securitate | Local | Fără cunoștințe tehnice electrice specifice | Siguranța persoanelor și a bunurilor | În camera centrală de securitate, pe ecran, prin cabluri, GSM sau rețeaua de date | Rar, în cazul unui eveniment | Ordine derivate din proceduri planificate în funcție de tipul de eveniment electric și de alarmele predefinite către responsabili. |
| Șeful compartimentului de intreținere | Local | Responsabil de buna funcționare a instalațiilor inclusiv cele electrice, vechime 3-8 ani în această poziție, bun tehnician cu nivel ridicat de autonomie în decizii. Deleagă problemele electrotehnice în afara organizației (de exemplu calculul reglajului protecțiilor) | Împreună cu echipa sa asigură funcționarea corectă a aparaturii în toate zonele (răcire, aer condiționat, electricitate, securitate, siguranța personalului, etc.). Prioritate o are disponibilitatea, din cauza superiorilor, de aceea el decide implicarea consultanților externi și contribuie la proiectele de investiții | MMS/SMS, calculator, prin intranet, e-mail | Rar, la evenimente, consultări periodice ale rapoartelor, frecvente cereri de consultare a informațiilor | Datele sunt partajate cu echipa sa:<br>- ecrane cu măsurători, asistență la interpretări posibile (limitări, etc.)<br>- ecrane de consumuri (kWH și Euro)<br>- evenimente cu marcă de timp<br>- adresele subcontractorilor<br>- schema monofilară a instalației, desene ale dulapurilor electrice, legături către instrucțiunile fabricantilor<br>- date financiare utilizate în proiectele de investiții<br>- indicatori de performanță electrică de completat |
| Responsabilul administrativ | Local | Competențe în conducerea corporativă ca și în conducerea executivă | Responsabilul cu centrul de profit. Asigură conformitatea cu procedurile pentru personal pe baza unei liste de verificări. Interesat de reducerea costurilor | Rapoarte economice | Lunar | Aspecte financiare incluzând consumul de electricitate, legătura între cifra de afaceri și consumul de electricitate, costul mentenanței rețelei electrice |
| Managerul de eficiență energetică din cadrul unei companii multinaționale | Sediu corporație | Responsabil achiziții negociază contracte globale de achiziție de energie | Responsabil de factura globală de energie a companiei ca sumă a filialelor, face comparații între entități | Rapoarte economice | Lunar | Date financiare inclusiv consumul de electricitate pentru fiecare din entități |

***Tab. K6:*** *Diferitele poziții și misiuni ale participanților din cadrul companiei.*

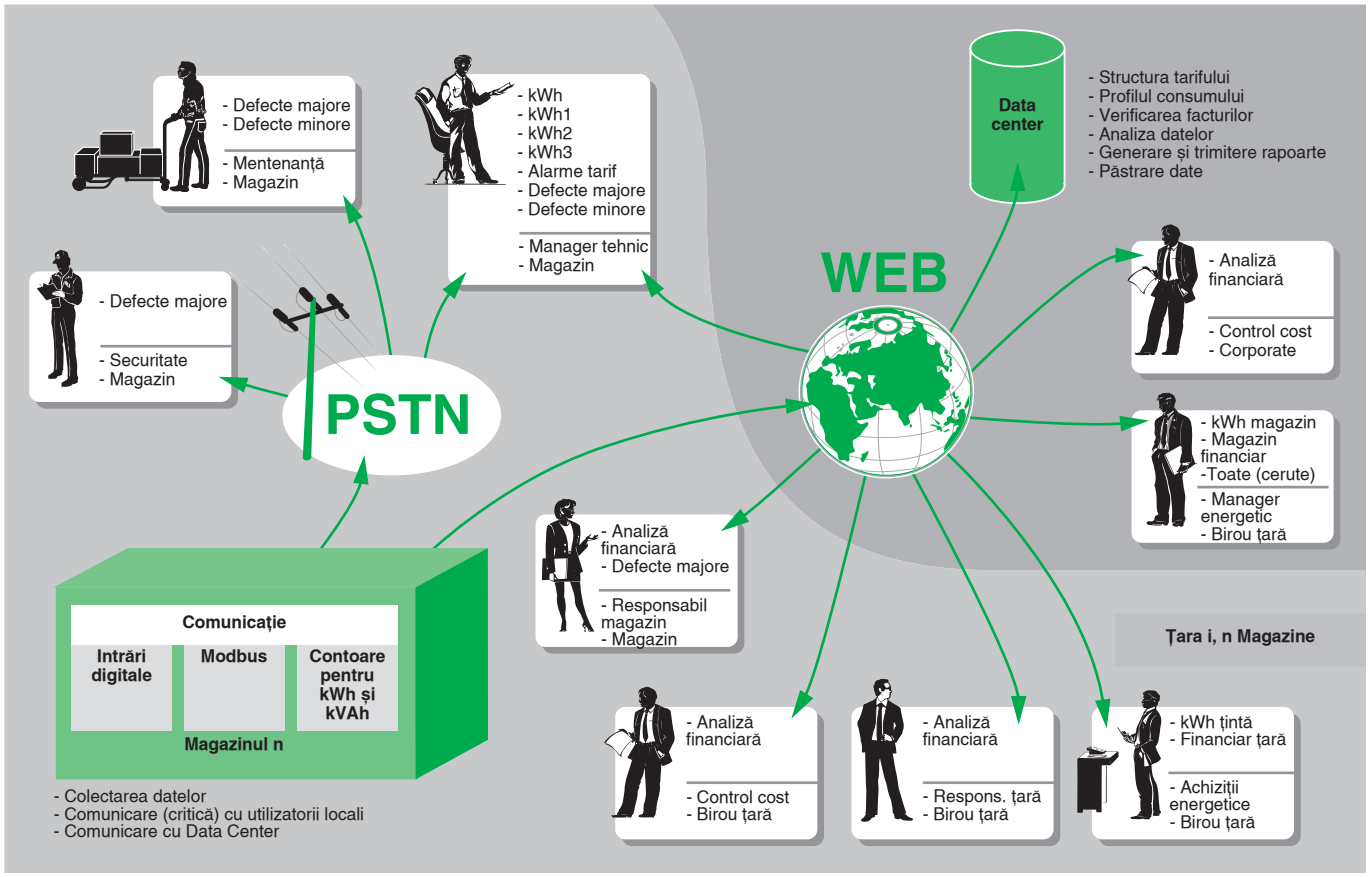



*Fig. K7: Exemplu: Configurația unei rețele de complexe comerciale cu rolul mai multor participanți.*

# 4 De la măsurători electrice la informații electrice

Performanțele de eficiență energetică în domeniul electricității pot fi explicate numai în termeni de mărimi fizice fundamentale - tensiuni, curenți, armonici, etc. Aceste măsurători fizice trebuiesc reprocesate pentru a deveni date digitale și apoi informații.
În formă brută datele nu sunt de mare folos. Din păcate mulți responsabili energetici s-au cufundat total în aceste date și văd colectarea și interpretarea datelor ca sarcina lor principală. Pentru a genera valoare din aceste date ele trebuiesc transformate în informații, (utilizate pentru suportul celor care supervizează consumurile energetice) și înțelegere (utilizată pentru acțiuni în domeniul reducerii consumului).
Ciclul operațional este bazat pe patru procese: colectarea datelor, analiza datelor, comunicarea datelor și acțiune (vezi **Fig. K8**). Aceste elemente se aplică oricărui sistem de achiziție a informațiilor. Ciclul funcționează cu condiția ca o rețea de comunicații adecvată să fie funcțională.

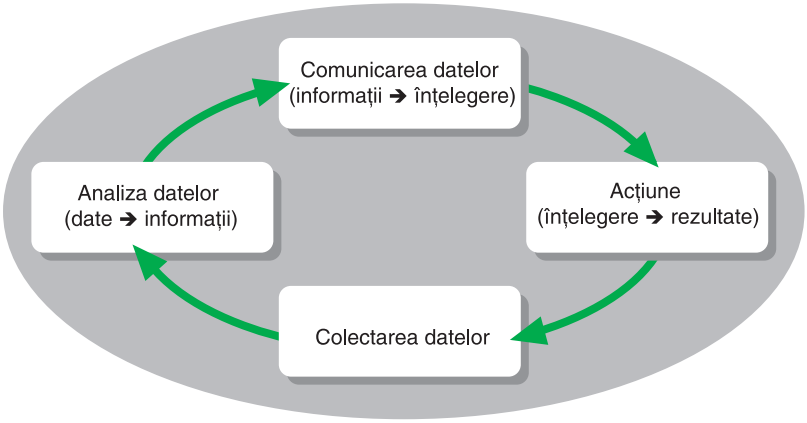



***Fig. K8:*** *Ciclul operațional.*

Nivelul procesării datelor generează informații care pot fi înțelese la nivelul personalului; abilitatea interpretării datelor de către utilizator rămâne o provocare în sensul stabilirii deciziilor.
Datele sunt legate direct de receptorii care consumă electricitate (procese industriale, iluminat, aer condiționat, etc.) și de serviciile pe care acești receptori le aduc companiei (cantitate de produse manufacturate, confortul vizitatorilor unui supermarket, temperatura într-o camera frigorifică, etc).
Sistemul de informații este apoi, gata să fie utilizat zilnic de cei interesați pentru a atinge obiectivele de eficiență energetică stabilite de conducătorii companiei.



## 4.1 Achiziția valorilor fizice

Calitatea datelor începe de la măsurătoare: la locul potrivit, la timpul potrivit și în cantitatea potrivită. În principiu măsurătorile electrice se bazează pe tensiune și pe curentul ce trece prin conductori. Aceste valori ne conduc la toate celelalte: putere, energie, factor de putere, etc.
Mai întâi vom asigura coerența între clasa de precizie a transformatoarelor de curent, transformatoarelor de tensiune și precizia aparatelor de măsură. Clasa de precizie va fi mai mică la înaltă tensiune; o eroare de măsură la înaltă tensiune înseamnă foarte multă energie.
Eroarea totală este egală cu suma pătratică a fiecărei erori:

$$\sum_{\text{erorilor}} = \sqrt{\text{eroare}^2 + \text{eroare}^2 + \ldots + \text{eroare}^2}$$

Exemplu: un dispozitiv de măsură cu o eroare de 2% conectat la un TC cu eroare de 2% înseamnă:

$$\sum_{\text{erorilor}} = \sqrt{(2)^2 + (2)^2} = 2{,}828\%$$

Aceasta poate însemna o pierdere de 2.828 kWh pentru 100.000 kWh consumați.

*Un TC este definit prin:*
- *Raportul de transformare. De ex.: 50/5 A;*
- *Clasa de precizie Cl. De exemplu Cl = 0,5 cazul general;*
- *Puterea de precizie în secundar necesară pentru a alimenta cu energie dispozitivele de măsură din secundar. De exemplu 1,25 VA;*
- *Factorul limită de precizie indicat ca factor aplicat $I_n$ înaintea saturaţiei. De exemplu FLP (sau $F_s$) = 10 pentru dispozitive de măsură cu o putere de măsură conformă cu normele.*

*Unitate de măsură PM700.*

**Măsurarea tensiunii**
La JT tensiunea se măsoară direct de către dispozitive de măsură. Atunci când nivelul de tensiune devine incompatibil cu caracteristicile dispozitivului (de exemplu la medie tensiune) trebuie să utilizăm transformatoare de tensiune.
Un TT (transformator de tensiune) este definit de:
- tensiunea primară şi tensiunea secundară;
- puterea aparentă;
- clasa de precizie.

**Măsurarea curentului**
Măsurarea curentului este executată de transformatoare de curent (TC) cu miez despicat sau miez continuu, plasate în jurul fazelor şi în jurul neutrului acolo unde este cazul. În concordanţă cu precizia cerută pentru măsurători TC asociate cu releele de protecţie permit de asemenea măsurarea curentului în condiţii normale.
În particular pentru a măsura energia considerăm două obiective:
- Obiectiv contractual stabilit cu furnizorul de energie sau în eventualitatea revânzării energiei. În acest caz CEI 62053-21 pentru clasele 1 şi 2 şi CEI 62053-22 pentru clasele 0,5S şi 0,2S devin aplicabile pentru a măsura energia activă. Întregul lanţ de măsură - TC, TT şi dispozitivul de măsură - poate atinge o clasă de precizie CI de 1 la joasă tensiune, 0,5 la medie tensiune şi 0,2 la înaltă tensiune cu posibilităţi de a atinge 0,1 în viitor.
- Alocarea costurilor interne în cadrul companiei adică împărţirea costurilor electricităţii pe fiecare produs fabricat într-un anume atelier. În acest caz o clasă de precizie între 1 şi 2 pentru întregul lanţ (TC, TT şi dispozitivul de măsură) este suficientă.

Vă recomandăm să coordonaţi precizia întregului lanţ de măsură cu cerinţele de măsură actuale; nu există o singură soluţie universală ci un bun compromis tehnic şi economic cu cerinţele ce trebuiesc satisfăcute. Reţineţi că şi precizia măsurătorilor are un cost care trebuie comparat cu amortizarea investiţiei pe care o aşteptăm.
În general câştigurile în termeni de eficienţă energetică sunt mai mari atunci când reţeaua electrică nu a fost echipată în acest fel până acum. În schimb, modificările permanente ale reţelei electrice cauzate de activitatea companiei ne fac să căutam optimizări semnificative şi imediate.

**Exemplu:**
Un ampermetru analogic de clasă 1, calibru 100 A, va afişa o măsurătoare de ±1 A la 100 A. Dacă el afişază 2 A, măsurătoarea este corectă începând de la 1 A, rezultând deci o incertitudine de 50%. O staţie de măsură clasă 1 ca PM710 Merlin Gerin - ca toate celelalte staţii de măsură şi unităţi de monitorizare şi măsură a circuitelor Merlin Gerin - au o precizie de 1% pe întreg domeniul de măsură aşa cum este specificat în standardul CEI 62053.
Alte măsurători fizice îmbunătăţesc datele culese:
- poziţia închis/deschis a aparatajului de comutaţie;
- măsurarea energiei prin impulsuri;
- temperatura transformatoarelor şi motoarelor;
- orele de funcţionare, numărul de conectări/deconectări;
- sarcina motoarelor;
- sarcina bateriilor UPS-urilor;
- jurnale pentru evenimente, în special pentru defecte;
- etc.

## 4.2 Date electrice pentru obiective reale

Datele electrice sunt transformate în informaţii care urmăresc să satisfacă următoarele obiective:
- modificarea obiceiurilor utilizatorilor pentru a consuma raţional energie electrică şi a obţine în final costuri energetice mai mici.
- îmbunătăţirea eficienţei personalului de exploatare;
- scăderea costului energiei;
- economia de energie prin înţelegerea modului în care aceasta este utilizată şi cum activele şi procesele pot fi optimizate pentru a fi mai eficiente energetic.
- optimizarea şi creşterea duratei de viaţă a mijloacelor fixe asociate cu reţeaua electrică;
- în final poate deveni o piesă importantă în creşterea productivităţii proceselor asociate (procese industriale sau chiar de birou, managementul clădirilor), prevenind sau reducând întreruperile sau asigurând energie de o calitate mai bună receptorilor.

# 4 De la măsurători electrice la informații electrice

Costurile operaționale suprapuse peste imaginea unui iceberg (vezi **Fig. K9**). Dacă un iceberg pare mare la suprafață, mărimea din apă este de-a dreptul copleșitoare. Prin analogie în fiecare lună furnizorul de energie vă trimite o factură pentru energia consumată. Economiile în această factură sunt importante și singure pot justifica nevoia unui sistem de monitorizare a energiei. Există însă și alte economii mai puțin evidente dar mult mai semnificative care pot fi obținute dacă dispuneți de uneltele corespunzătoare.

**Modificarea obiceiurilor utilizatorilor de energie**

Utilizând rapoartele de alocare a costurilor puteți verifica corectitudinea și acuratețea facturii de energie, distribui factura internă pe departamente, adopta decizii efective bazate pe considerente energetice și făcând publice performanțele măsurii la fiecare nivel din organizație. Apoi utilizând modelul "proprietarul consumului de energie" la nivelul potrivit în organizație este posibil să fie modificat comportamentul utilizatorilor pentru a induce respect față de consumurile energetice și în final pentru a diminua costurile totale energetice.

**Îmbunătățirea eficienței personalului de exploatare**

Una din principalele provocări pentru personalul de exploatare al rețelei electrice este de a adopta deciziile potrivite și de a acționa în cel mai scurt timp. De aceea este necesar ca acești oameni să știe mai bine ce se întâmplă în rețeaua lor, și pe cât posibil să fie informați oriunde s-ar afla în obiectivul respectiv.
Acest obiectiv înțelept - transparent este un factor cheie care permite personalului să:

- înțeleagă parcursul energiei electrice - să verifice dacă rețeaua este parametrizată corespunzător, echilibrată, care sunt principalii consumatori, în ce perioadă a zilei (sau săptămânii), etc;
- înțeleagă comportamentul rețelei - declanșarea unei plecări principale este mai ușor de înțeles dacă ai acces la informații de la sarcinile din aval;
- fie informați operativ asupra evenimentelor, chiar atunci când se află în afara obiectivului, utilizând comunicațiile mobile disponibile în prezent;
- în cazul unei avarii să se ducă direct la echipamentul afectat, cu piesele de schimb potrivite, și cu cauza avariei bine înțeleasă;
- inițieze acțiuni de mentenanță luând în considerare uzura reală a echipamentului, nici mai devreme nici mai târziu;
- în final electricianul va avea posibilitatea să monitorizeze rețeaua electrică și va obține în anumite cazuri o scădere drastica a costului energiei.

Iată mai jos câteva exemple ale celor mai simple aplicații de sisteme de monitorizare:

- marcarea zonelor unde au fost detectate consumuri anormale;
- urmărirea consumurilor neprevăzute;
- asigurarea că consumul de energie nu este mai mare decât al competiției;
- alegerea contractului de furnizare optim cu furnizorul de energie;
- stabilirea unor reguli de consum simple pentru receptorii simpli (de exemplu iluminat);
- solicitarea compensării daunelor datorită livrărilor de energie cu parametri necorespunzători de către furnizorul de energie (de exemplu oprirea unui proces datorită unui gol de tensiune).

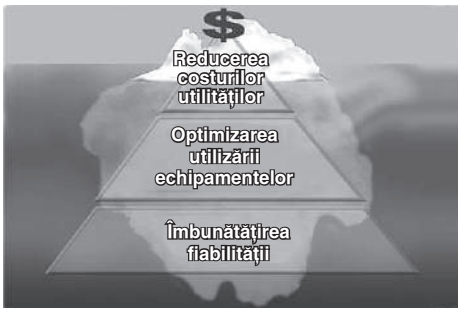



*Fig. K9: Costurile operaționale suprapuse peste imaginea unui iceberg.*

**Implementarea proiectelor de eficiență energetică**

Sistemul de monitorizare a energiei electrice va furniza informații care vor susține un audit energetic complet al obiectivului. Asemenea audit poate acoperi pe lângă electricitate și sistemele de apă, aer, gaz și abur. Măsura, marcarea și normarea informațiilor privitoare la consumurile energetice va arăta cât de eficiente sunt procesele și, pe ansamblu, obiectivul. Astfel pot fi elaborate planuri de acțiune corespunzătoare. Obiectivele acestora pot fi variate de la sisteme de control iluminat, sisteme de automatizare clădiri, variatoare de viteză, automatizări de proces, etc.

**Optimizarea mijloacelor fixe**

O realitate este ca rețeaua electrică evoluează din ce în ce mai mult și de fiecare dată apare întrebarea: Va suporta rețeaua mea această nouă evoluție? Acesta este un caz tipic când sistemul de monitorizare poate ajuta responsabilul rețelei să ia deciziile corecte. Prin activitatea de înregistrare, se poate stabili adevărata utilizare a echipamentelor și evalua cu acuratețe rezerva disponibilă într-o porțiune de rețea, tablou electric sau transformator. O utilizare corectă a echipamentului poate crește durata sa de viață. Sistemele de monitorizare pot furniza informații exacte despre utilizarea echipamentelor și echipele de mentenanță pot decide asupra operațiunii de mentenanță potrivite, nici prea devreme, nici prea târziu. În anumite cazuri monitorizarea armonicilor poate fi un factor pozitiv pentru durata de viață a anumitor echipamente (de exemplu motoare sau transformatoare).

**Creşterea productivităţii prin reducerea timpului de întrerupere**
Timpul de întrerupere este coşmarul persoanelor însărcinate cu buna funcţionare a reţelei electrice. Pot fi generate pierderi importante pentru companie, presiunea pentru realimentarea cât mai rapidă - şi stresul asociat pentru operatori - este foarte ridicat.
Un sistem de monitorizare şi control poate fi de folos reducând timpii de întrerupere foarte eficient. Fără să mai vorbim de un sistem de telecontrol care este mult mai sofisticat dar care poate fi necesar pentru aplicaţiile cele mai solicitante, un simplu sistem de monitorizare poate furniza informaţii importante care vor contribui semnificativ la reducerea timpilor de întrerupere:
- informând personalul operativ asupra evenimentelor, chiar atunci când se află în afara obiectivului (utilizând comunicaţiile mobile disponibile în prezent GSM/SMS);
- furnizând o vedere globală a statutului reţelei electrice;
- ajutând la identificarea zonei cu defect;
- având acces la informaţii detaliate furnizate de aparatura de câmp şi atașate fiecărui eveniment (motivul declanșării de exemplu).

Apoi teleconducerea aparatajului poate fi necesară dar nu obligatorie. În multe cazuri este necesară o deplasare la locul defectului pentru a demara acţiunile necesare.

**Creşterea productivităţii prin îmbunătăţirea calităţii energiei**
Anumiţi receptori pot fi foarte sensibili la calitatea energiei şi operatorii pot fi puşi în faţa unor situaţii neaşteptate dacă calitatea energiei nu este sub control. Monitorizarea calităţii energiei este calea potrivită pentru a preveni astfel de evenimente şi/sau pentru a rezolva probleme punctuale.

## 4.3 Măsurătorile încep cu produse autonome cu funcţii de măsură suplimentare

Alegerea aparatajului de măsură şi aparatajului electric se face în funcţie de priorităţile programului dumneavoastră de eficienţa energetică şi în funcţie de tehnologia disponibilă:
- Funcţiile de măsură şi protecţie pentru reţelele de medie şi joasă tensiune sunt integrate în acelaşi dispozitiv.

Exemple: Releele de măsură şi protecţie Sepam, declanşatoarele Micrologic pentru Compact şi Masterpact, unităţile de control motoare TeSys U, controlerul varmetric NRC12, sursele neîntreruptibile Galaxy.
- Funcţia de măsură este integrată într-un dispozitiv dar separată de funcţia de protecţie.

Exemplu: Accesoriu la un întreruptor automat de joasă tensiune.
- Funcţia de măsură este îndeplinită de un dispozitiv separat.

Exemplu: PowerLogic Circuit Monitor este un dispozitiv de măsură de înaltă performanţă.

Progresele făcute de electronica industrială şi de tehnologiile IT au fost utilizate într-un singur dispozitiv:
- pentru a îndeplini cerinţele de simplificare a tablourilor electrice;
- pentru a reduce costurile de achiziţie şi a reduce de asemenea numărul de aparate;
- pentru a facilita evoluţia produselor prin proceduri de upgrade software.

*Unităţi de declanşare Micrologic pentru Masterpact*

*Unitate de control motor TeSys U*

# 4 De la măsurători electrice la informații electrice

Mai jos vă oferim exemple de măsurători ce pot fi transmise prin Modbus, RS485 sau Ethernet (vezi **Fig. K10**):

| | Unități de măsură | Relee de măsură și protecție MT | Relee de măsură și protecție JT | Controlere varmetrice | Controlere de izolatie |
|---|---|---|---|---|---|
| Exemple | Power Meter, Circuit Monitor | SEPAM | Declanșatoare Micrologic pentru Compact și Masterpact | Varlogic | Sisteme Vigilohm |
| **Menținerea controlului asupra consumului de energie** | | | | | |
| Puterea instantanee, maximă, minimă | ■ | ■ | ■ | ■ | - |
| Energia, posibilitate de repornire de la 0 | ■ | ■ | ■ | - | - |
| Factorul de putere, instantaneu | ■ | ■ | ■ | - | - |
| Cos φ, instantaneu | - | - | - | ■ | - |
| **Îmbunătățirea disponibilității energiei** | | | | | |
| Curent, instantaneu, maxim, minim, dezechilibre | ■ | ■ | ■ | ■ | - |
| Curent, captura formei de undă | ■ | ■ | ■ | - | - |
| Tensiune, instantanee, maximă, minimă, dezechilibre | ■ | ■ | ■ | ■ | - |
| Tensiune, captura formei de undă | ■ | ■ | ■ | - | - |
| Starea aparatului | ■ | ■ | ■ | ■ | - |
| Jurnalul de defecte | ■ | ■ | ■ | - | - |
| Frecvența, instantanee, max., min. | ■ | ■ | ■ | - | - |
| THDu, THDi | ■ | ■ | ■ | ■ | - |
| **Administrarea mai bună a instalației electrice** | | | | | |
| Temperatura receptoarului, sarcina și starea termică | ■ | ■ | - | ■ | - |
| Rezistența de izolație | - | - | - | - | ■ |

| | Unități de control motoare | Variatoare de viteză JT | Softstartere JT | Softstartere MT | Surse neîntreruptibile |
|---|---|---|---|---|---|
| Exemple | TeSys U | ATV | ATS | Motorpact RVSS | Galaxy |
| **Menținerea controlului asupra consumului de energie** | | | | | |
| Puterea instantanee, maximă, minimă | - | ■ | - | ■ | ■ |
| Energia, posibilitate de repornire de la 0 | - | ■ | ■ | ■ | - |
| Factorul de putere, instantaneu | - | - | ■ | ■ | ■ |
| **Îmbunătățirea disponibilității energiei** | | | | | |
| Curent, instantaneu, maxim, minim, dezechilibre | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Curent, captura formei de undă | - | - | - | ■ | ■ |
| Starea aparatului | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Jurnalul de defecte | ■ | ■ | ■ | ■ | - |
| THDu, THDi | - | ■ | - | - | - |
| **Administrarea mai bună a instalației electrice** | | | | | |
| Temperatura receptoarului, sarcina și starea termică | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Ore de funcționare motor | - | ■ | ■ | ■ | - |
| Monitorizare baterii | - | - | - | - | ■ |

*Tab. K10: Exemple de măsurători disponibile via Modbus, RS485 sau Ethernet.*

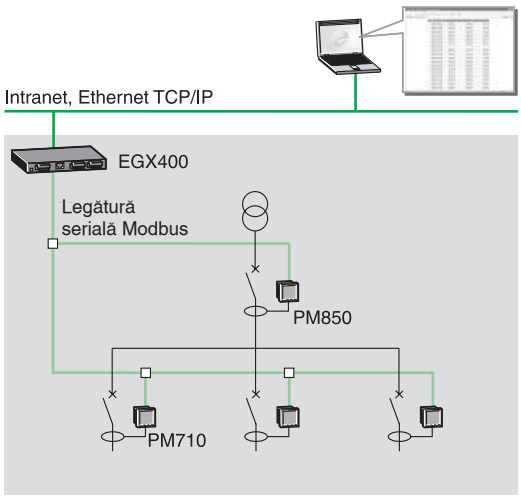



*Fig. K11: Exemple de instalații electrice protejate și monitorizate via site Intranet.*

**Exemple de soluții pentru un obiectiv de mărime medie**
Analysesample Ltd. este o companie specializată în analiza mostrelor industriale colectate de la fabricile din regiune: metale, plastice, etc., pentru certificarea caracteristicilor chimice. Compania vrea să dețină un control mai bun asupra consumurilor de energie electrică a cuptoarelor existente, sistemului de aer condiționat și vrea, de asemenea, să asigure calitatea energiei electrice pentru aparatura de măsură de precizie utilizată pentru analiza mostrelor.

**Rețea electrică protejată și monitorizată via site Intranet**
Soluția implementată implică achiziția datelor referitoare la energie de la unitățile de măsură ceea ce permite de asemenea măsurători asupra parametrilor electrici de bază precum și verificarea calității energiei electrice. Conectat la un server web un browser internet permite utilizarea foarte simplă a datelor precum și exportul acestora în Microsoft Excel™. Curbele de consum și alți parametrii pot fi tipărite în timp real din foaia de calcul (vezi **Fig. K11**).
Nu este deci nevoie de alte investiții IT, în software sau hardware pentru a utiliza datele.
De exemplu pentru reducerea facturii de electricitate și limitatea consumului pe timp de noapte și în week-end-uri trebuie să studiem curbele de consum furnizate de echipamentele de măsură (vezi **Fig. K12**).

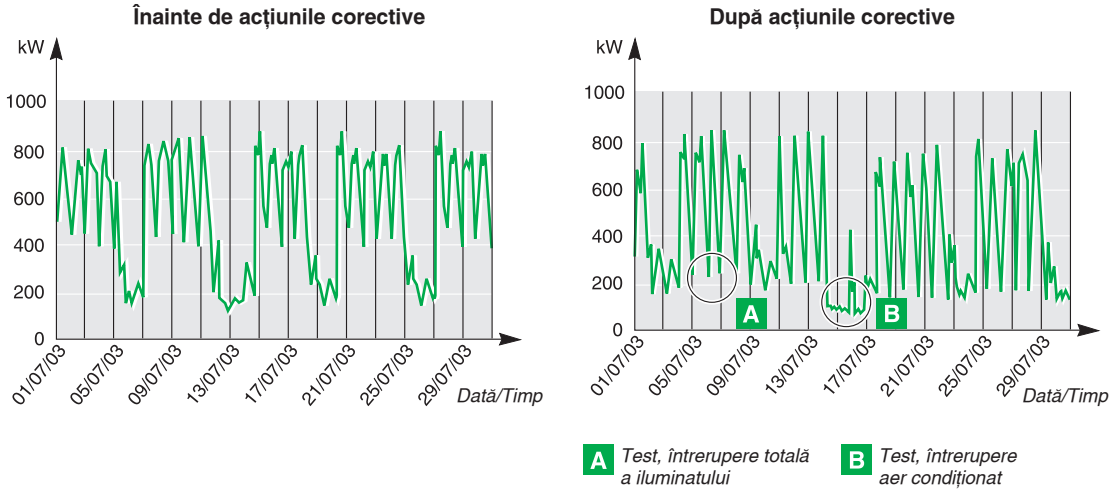



*Fig. K12:* **A** *Test, întrerupere totală a iluminatului* **B** *Test, întrerupere aer condiționat*
*Aici consumul în timpul orelor nelucrătoare pare excesiv, așa încât s-au luat două decizii:*
- *reducerea iluminatului pe timp de noapte;*
- *oprirea aerului condiționat în timpul week-end-urilor.*

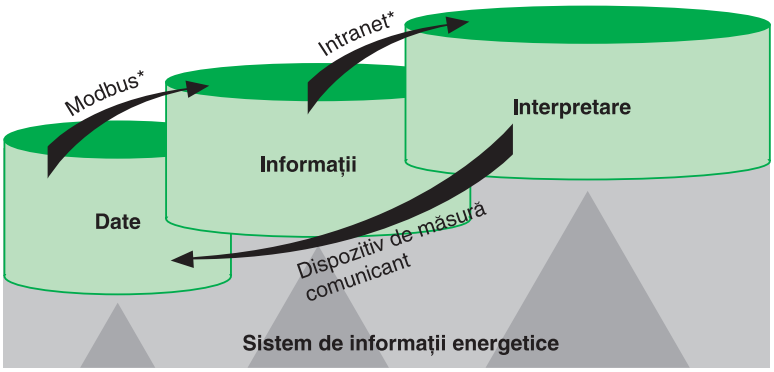
*Noua curbă obținută arată o scădere semnificativă a consumului.*

# 5 Sistem de informare și comunicare

Mai multe organizații au deja un sistem de informații chiar dacă nu este identificat și condus corespunzător. Trebuie subliniat că într-o lume în schimbare orice sistem de informații trebuie dezvoltat astfel încât să fie capabil să-și îndeplinească primul obiectiv și anume fundamentarea deciziilor managementului: un punct cheie este să facem vizibile informațiile referitoare la consumul de energie la orice nivel al organizației prin intermediul infrastructurii de comunicație.
Datele energetice sunt importante, sunt unul din bunurile companiei. Compania are manageri IT care sunt deja însărcinați să exploateze celelalte sisteme IT. Aceștia sunt participanți importanți la sistemul de monitorizare a energiei și la schimbul de date cu celelalte entități din cadrul companiei.

## 5.1 Rețeaua de comunicație la nivelul produsului, echipamentului și amplasamentului

Lucrul de zi cu zi într-un sistem de informații energetice poate fi ilustrat de următoarea diagramă (vezi **Fig. K13**).




* Rețea de comunicație

***Fig. K13:*** *Ierarhia sistemului.*

Sunt utilizate resurse diverse pentru a trimite date de la aparatele de măsură și protecție instalate în tablourile electrice ale utilizatorului cum ar fi, de exemplu prin sistemul Schneider Electric Transparent Ready™.

**Protocolul de comunicații Modbus**
Modbus este un protocol de comunicații industrial între echipamente care sunt interconectate printr-o legătură fizică cum ar fi de exemplu o rețea RS485 sau Ethernet via (TCP/IP) sau modem (GSM, Radio, etc). Acest protocol este bine adaptat pentru produsele pentru măsură și protecție în rețele electrice.
Inițial creat de Schneider Electric, Modbus este acum o resursă publică administrată de un organism independent - organizația Modbus IDA - care permite deschiderea totală către utilizatori. Fiind definit ca standard industrial în 1979, Modbus permite ca milioane de produse să comunice între ele.
Organizația internațională care administrează internetul, IETF, a aprobat crearea unui port (502) pentru produsele conectate la Internet/Intranet și utilizând protocolul de comunicații Ethernet Modbus TCP/IP.
Modbus este un proces de interogare/răspuns între două echipamente bazat pe citirea și scrierea datelor (coduri de funcții). Interogarea este emisă de un singur “master”, răspunsul este trimis de echipamentul “slave” indentificat în interogare (vezi **Fig. K14**).
Fiecărui produs “slave” conectat într-o rețea Modbus i se atribuie de către utilizator un număr de identificare, numit adresa Modbus, și cuprins între 1 și 247.
“Master”-ul (de exemplu un server web amplasat într-un tablou electric) interoghează simultan toate aparatele din rețea cu un mesaj cuprinzând adresa respondentului, codul funcției, locația de memorie a aparatului și cantitatea de informații, cel mult 253 octeți.
Numai produsul cu adresa specificată va răspunde acestei cereri de date.
Schimbul are loc numai la inițiativa “master”-ului (aici serverul web): aceasta este procedura de operare “master-slave” a Modbus.

Procedura de interogare urmată de un răspuns, înseamnă că “master”-ul va avea toate datele disponibile în echipamente atunci când este interogat.
“Master”-ul administrează toate tranzacţiile prin interogări succesive, dacă se adresează aceluiași produs. Această regulă permite calculul numărului maxim de produse conectate la un “master” pentru a obţine un timp de răspuns acceptabil pentru iniţiatorul interogării, în special când legătura RS485 nu este prea bună.

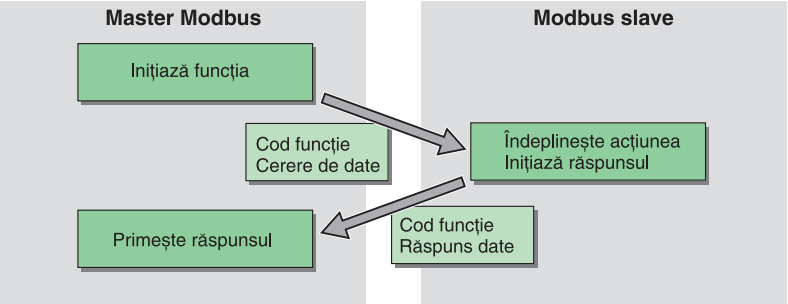



***Fig. K14:*** *Codurile funcţiilor permiţând citirea sau scrierea datelor.*
*Un mecanism software de detectare a erorilor de transmitere numit CRC16 permite ca un mesaj cu eroare să fie repetat și numai aparatul implicat să raspundă.*

**Rețeaua dumneavoastră Intranet**
Schimbul de date industriale utilizează în principal tehnologiile web implementate permanent în rețeaua de comunicaţii a companiei și mai particular în rețeaua intranet a companiei.
Infrastructura IT administrează coabitarea aplicaţiilor software: compania o utilizează pentru funcţionarea de aplicaţii ca birotică, tipărire, salvare date critice, contabilitate, achiziţii, etc. Coexistenţa datelor pe aceeași rețea de comunicaţii nu pune deci probleme tehnologice deosebite.
Atunci când câteva PC-uri, imprimante și servere sunt conectate împreună în clădirile companiei, foarte probabil utilizând rețeaua locală Ethernet și serviciile web, această companie poate avea acces cu minim efort la datele de eficienţă energetică furnizate de tablourile sale electrice. Și aceasta fără nici o dezvoltare software, tot ceea ce trebuie este un browser internet de tipul Microsoft Internet Explorer™.
Datele de la aceste aplicaţii tranzitează rețeaua locală Ethernet cu până la 1 Gb/s: mediul de comunicaţie utilizat în mod curent este cuprul sau fibra optică, care permite conectarea oriunde, în clădirile comerciale sau industriale sau în instalaţiile electrice.
Dacă compania are de asemenea un sistem intern de comunicaţii Intranet pentru schimbul de e-mail-uri și partajarea datelor pe servere web, ea utilizează de asemenea un protocol de comunicaţii standardizat extrem de cunoscut: TCP/IP.
Protocolul de comunicaţii TCP/IP este proiectat pentru cele mai utilizate servicii web și anume HTTP pentru accesarea paginilor web, SMTP pentru mesageria electronică, etc.



| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Aplicaţii | SNMP | NTP | RTPS | DHCP | TFTP | FTP | HTTP | SMTP | Modbus |
| Transport | UDP | | | | | TCP | | | |
| Legătură | IP | | | | | | | | |
| Fizic | Ethernet 802.3 și Ethernet II | | | | | | | | |

# 5 Sistem de informare și comunicare

Datele electrice înregistrate în serverele web industriale instalate în dulapuri electrice sunt expediate utilizând același protocol standardizat TCP-IP pentru limitarea costurilor de mentenanţă IT recente, intrinseci rețelei IT. Acesta este principiul de operare a sistemului de comunicaţii date asupra eficienței energetice Schneider Electric Transparent Ready™. Tabloul electric este autonom neavând nevoie de un sistem IT adițional, de un PC, toate datele privitoare la eficienţa energetică pot circula în mod uzual via intranet, GSM, linie de telefonie fixă, etc.

**Securitate**
Angajații vor fi mai bine informați, mai eficienți și vor lucra în condiţii de deplină securitate electrică; ei nu vor mai fi nevoiți să meargă în camerele cu dulapuri electrice pentru a face verificări de rutină asupra aparatelor electrice - ei trebuie doar să consulte datele. În aceste condiții sistemele de comunicații oferă angajaților companiei câștiguri imediate și semnificative și evită grija eventualelor greșeli. Devine astfel posibil pentru electricieni, tehnicieni de mentenanţă sau producție, manageri să lucreze cu toți în deplină siguranță. În funcție de importanţa datelor managerul IT va da utilizatorilor drepturile de acces adecvate.

**Impact redus asupra mentenanței rețelei locale**
Responsabilul IT al companiei are resursele tehnice să completeze și să monitorizeze echipamentele legate la rețeaua IT al companiei. Bazat pe servicii web standard precum protocolul Modbus sub TCP/IP, având cerințe reduse de lățime de bandă și imunitate la virușii informatici sistemul de monitorizare a rețelei electrice nu afectează performanțele rețelei locale de comunicații; prin urmare responsabilul IT nu trebuie să facă investiții adiționale și nu are de asemenea probleme adiționale de securitate.

**Subcontractarea către parteneri externi**
În acord cu politica de securitate a companiei, este posibilă utilizarea serviciilor suport ale partenerilor uzuali din domeniul electric; contractorii, tablotierii, integratorii de sistem ai produselor Schneider Electric pot furniza asistență și pot analiza datele electrice de consum ale companiei. Documentația tehnică este disponibilă online și poate fi consultată oricând.

## 5.2 De la sistemul de control și monitorizare rețea până la echipamentul de putere inteligent

De mai mulți ani, în mod tradițional, sistemele de monitorizare și control au fost centralizate și bazate pe SCADA (Supervisory Control and Data Aquisition). Decizia de a investi într-un astfel de sistem - notat (3) în **Figura 15** - a fost luată până acum numai în cazul aplicaţiilor foarte solicitante, atât din cauza receptoarelor de putere mare cât și din cauza proceselor sensibile la non-calitatea energiei. Bazate pe tehnologii de automatizări, aceste sisteme sunt proiectate și personalizate adesea de către un integrator de sistem, și apoi instalate la obiectiv. Oricum, costurile inițiale, aptitudinile pentru exploatarea corectă a acestui sistem, costurile pentru evoluțiile necesare pentru a urmări dezvoltarea rețelei pot descuraja potențialii utilizatori să investească în acest domeniu. Apoi, bazată pe o soluție dedicată electricienilor, cea de-a doua abordare notată cu (2) se potrivește mult mai bine nevoilor specifice ale rețelei electrice și promite o amortizare cu mult mai rapidă a investiției. Totuși, datorită arhitecturii centralizate, costul unei asemenea soluții poate părea ridicat. Pentru anumite obiective tipurile (2) și (3) pot coexista furnizând informaţii mult mai corecte electricienilor, atunci când este necesar.
În prezent, un nou concept al echipamentelor de putere inteligente - notate cu (1) - este utilizat, considerat ca un prim pas către nivelurile (2) sau (3), datorită abilității acestor soluții de a coexista în cadrul aceluiași obiectiv.

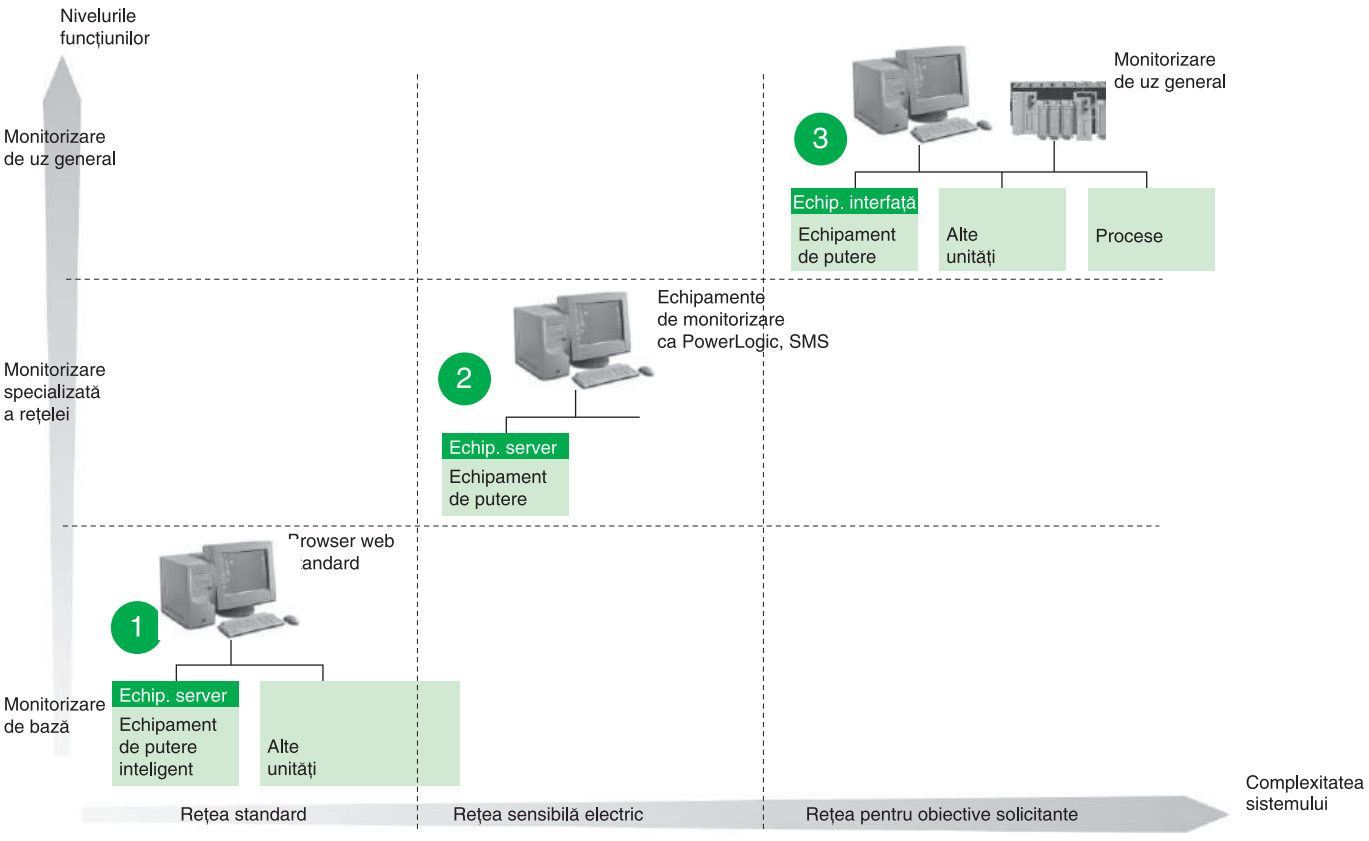



*Fig. K15: Poziționarea sistemelor de monitorizare.*

# 5 Sistem de informare și comunicare

**Arhitectura bazată pe sisteme inteligente** (vezi **Fig. K16**)
Noua arhitectură a apărut relativ recent datorită tehnologiilor web și poate fi poziționată ca un punct de intrare în sistemele de monitorizare. Fiind bazate pe tehnologiile web ea profită la maxim de serviciile și protocoalele de comunicații standard și de programele fără licență.
Informațiile electrice pot fi accesate oriunde în obiectiv iar munca electricienilor va fi mult mai eficientă. Conectarea la Internet este oferită de asemenea pentru toate serviciile obiectivului.

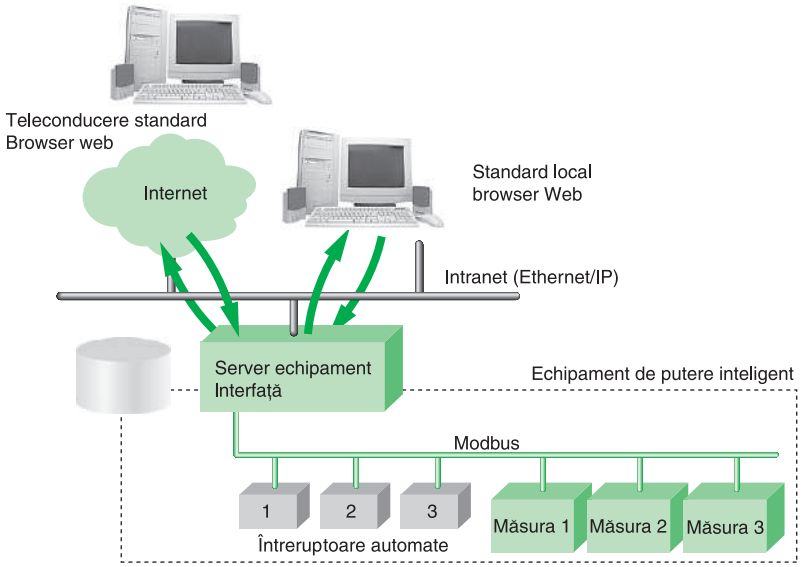



*Fig. K16: Arhitectura echipamentelor inteligente.*

**Arhitectura centralizată specializată pentru electricieni** (vezi **Fig. K17)**
Dedicată electricienilor, arhitectura este bazată pe o supervizare centralizată specifică care îndeplinește toate cerințele de monitorizare a rețelei electrice. Apoi ea solicită în mod natural un nivel mai redus de cunoștințe și aptitudini pentru punere în funcțiune, reglaje și mentenanță - toate aparatele de distribuție electrică sunt deja prezente într-o bibliotecă de funcții dedicată. În final și costul de achiziție este diminuat semnificativ datorită muncii simplificate a integratorului de sistem.

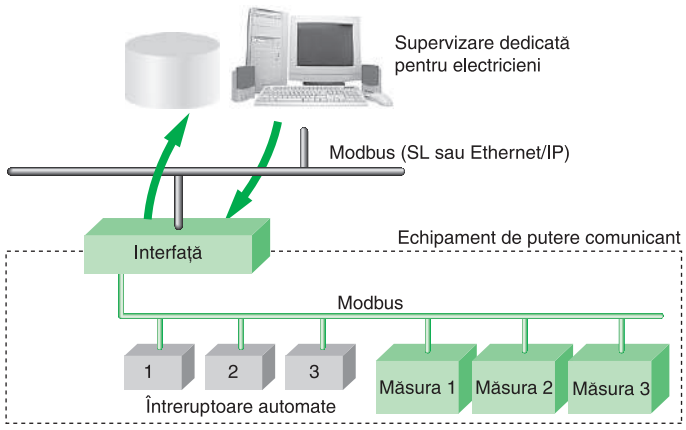



*Fig. K17: Arhitectura specializată de monitorizare a unui sistem de distribuție electrică.*

**Arhitectura convenţională centralizată de uz general** (vezi **Fig. K18)**
Aici este prezentată o arhitectură tipică bazată pe elemente standard de automatizări precum sistemele SCADA și diverse interfețe. În ciuda realei eficienţe această arhitectură are și câteva puncte slabe, din care enumerăm:
- nivelul ridicat de calificare pentru exploatarea acestei rețele;
- evolutivitatea greoaie și dificilă;
- în sfârșit, amortizarea riscantă a acestei soluţii costisitoare.

Este adevărat că această soluţie nu are echivalent pentru aplicaţiile cele mai solicitante și oferă date foarte relevante în sălile de operare centralizată.

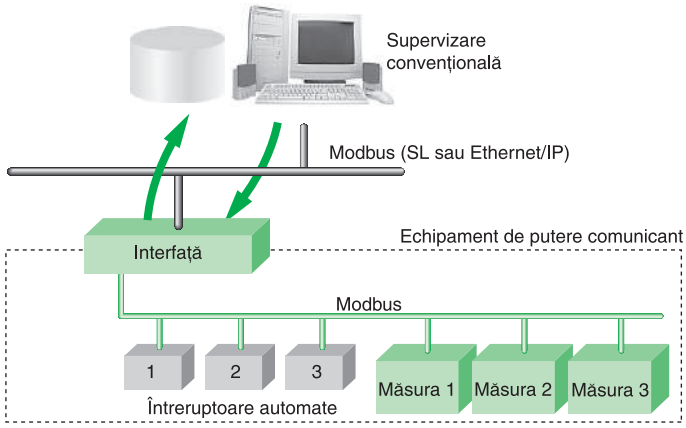



*Fig. K18: Sistem de monitorizare și control convenţional în timp real.*

## 5.3 Suportul web (e-suport) devine accesibil

Punerea la punct a unui sistem de informaţii pentru a susţine o abordare globală de eficienţă energetică conduce foarte repede la câștiguri economice, cu o amortizare într-o perioadă mai mică de 2 ani pentru electricitate. Ca și beneficiu suplimentar, care este încă subestimat astăzi, este pârghia pe care o obţineţi în termeni de informaţii tehnologice în acest sector. Reţeaua electrică poate fi analizată periodic de un consultant profesionist cu ajutorul internetului, pentru a răspunde următoarelor probleme specifice, după cum urmează:
- Contractele de furnizare a energiei. Schimbarea unui furnizor la un anumit moment devine posibilă datorită analizei permanente a costurilor legate de consumuri; înainte singurele date erau furnizate de bilanţul anual.
- Gestionarea permanenată a datelor electrice - via internet - pentru a le transforma în informaţii relevante, furnizate prin intermediul unui portal web personalizat. Informaţiile legate de consumul unui receptor sunt acum ușor de obţinut, disponibile astfel unui număr mare de utilizatori. Este ușor acum de postat aceste date pe internet, dar a le face realmente utile este mai complicat.
- Diagnoza defectelor electrice complexe care necesită analiza unui expert în electrotehnică; o resursă rară care este mai ușor accesibilă pe web.
- Monitorizarea consumurilor și generarea alertelor în cazul unor vârfuri de consum anormale.
- Serviciul de mentenanţă este exact atât cât este necesar, astfel încât presiunea asupra personalului de mentenanţă se va diminua.

Eficienţa energetică nu mai este o problemă la care compania trebuie să-i facă faţă singură; mai mulţi e-parteneri pot oferi sprijin atunci când este necesar, în special când se ajunge la stadiul măsurătorilor și asistenţei la luarea deciziilor, cu condiţia ca reţeaua electrică să fie comunicantă via internet.
Implementarea poate fi graduală, începând prin a face câteva echipamente cheie comunicante și extinzând treptat sistemul pentru a obţine acurateţea necesară și o bună acoperire a instalaţiei.

# 5 Sistem de informare și comunicare

Compania își poate defini politica: solicită unuia sau mai multor parteneri să analizeze datele, le analizează singură sau combină cele două opțiuni.
De asemenea compania poate decide să administreze singură energia electrică sau să ceară unui partener să monitorizeze calitatea energiei și altui partener să gestioneze datele referitoare la mentenanța echipamentelor.

***Exemplu:***
*Schneider Electric propune e-servicii care oferă vizualizarea datelor referitoare la sarcini și analiza aplicațiilor în cel mai simplu mod. Procesele pentru companiile cu locații geografice diverse sunt simplificate prin integrarea datelor într-un astfel de sistem. Sistemul transformă datele brute în informații utile, ușor accesibile tuturor utilizatorilor interni. Aceasta poate contribui la reducerea costurilor arătând utilizatorilor cum organizația din care fac parte folosește energia. O gamă largă de funcționalități servesc nevoile personalului cu ajutorul aceleiași platforme: Accesarea și analiza datelor, Facturi istorice și estimate, Comparații de consumuri, Simulări diverse, Impactul schimbărilor operaționale precum utilizarea energiei pe paliere orare sau reducerea utilizării cu o cantitate fixă sau procentuală, Alarmare automată, Rapoarte memorate, Marcaj și normalizare date, Alte utilități - Accesul la informațiile privind gazele și apa la fel ca și electricitatea.*

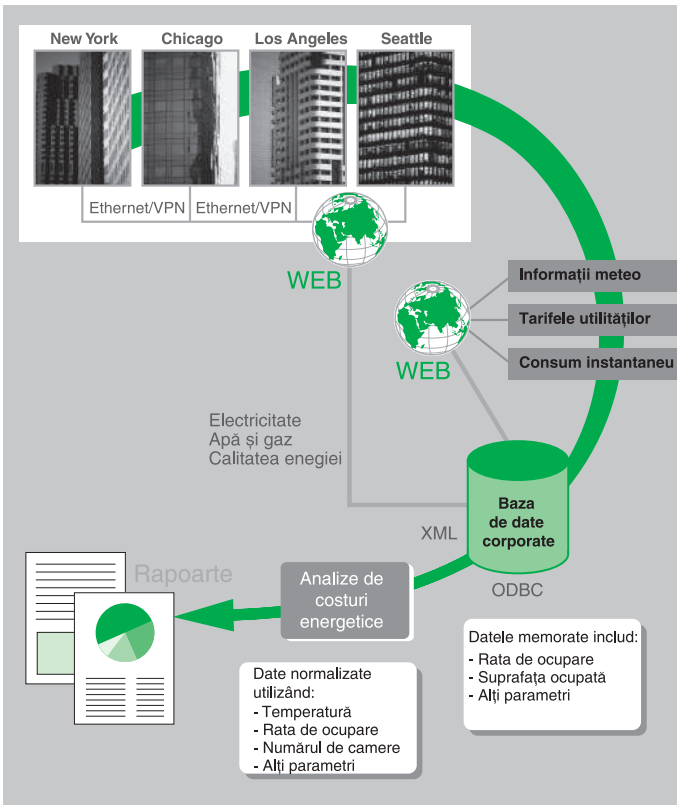



***Fig. K19:*** *Exemplu de soluție tipică.*

# Capitolul L
# Compensarea energiei reactive și filtrarea armonicilor

## Cuprins


| | | |
|---|---|---|
| 1 | **Energia reactivă și factorul de putere** | **L2** |
| | 1.1 Natura energiei reactive | L2 |
| | 1.2 Echipamente și instalații care absorb energie reactivă | L2 |
| | 1.3 Factorul de putere | L3 |
| | 1.4 Valori practice ale factorului de putere | L4 |
| 2 | **De ce să îmbunătățim factorul de putere?** | **L5** |
| | 2.1 Reducerea costului energiei | L5 |
| | 2.2 Optimizare tehnico-economică | L5 |
| 3 | **Cum să îmbunătățim factorul de putere?** | **L7** |
| | 3.1 Principii teoretice | L7 |
| | 3.2 Ce echipamente utilizăm? | L7 |
| | 3.3 Alegerea între bateria de condensatoare fixă sau cu reglaj automat | L9 |
| 4 | **Unde se instalează condensatoarele pentru compensarea energiei reactive** | **L10** |
| | 4.1 Compensare globală | L10 |
| | 4.2 Compensare sectorială | L10 |
| | 4.3 Compensare individuală | L11 |
| 5 | **Cum să hotărâm nivelul optim de compensare?** | **L12** |
| | 5.1 Metoda generală | L12 |
| | 5.2 Metoda simplificată | L12 |
| | 5.3 Metoda bazată pe evitarea penalizărilor tarifare | L14 |
| | 5.4 Metoda bazată pe reducerea puterii aparente contractate | L14 |
| 6 | **Compensarea la bornele transformatorului** | **L15** |
| | 6.1 Compensarea pentru creșterea puterii active disponibile | L15 |
| | 6.2 Compensarea energiei reactive absorbite de transformator | L16 |
| 7 | **Îmbunătățirea factorului de putere la motoarele cu inducție** | **L18** |
| | 7.1 Conectarea bateriei de condensatoare și reglajul protecției | L18 |
| | 7.2 Cum poate fi evitată autoexcitația unui motor cu inducție | L19 |
| 8 | **Exemplul unei instalații înainte și după compensarea energiei reactive** | **L20** |
| 9 | **Efectele armonicilor** | **L21** |
| | 9.1 Probleme apărute datorită armonicilor sistemului de alimentare | L21 |
| | 9.2 Soluții posibile | L21 |
| | 9.3 Alegerea soluției optime | L23 |
| 10 | **Instalarea bateriilor de condensatoare** | **L24** |
| | 10.1 Condensatoarele | L24 |
| | 10.2 Alegerea protecțiilor, aparaturii de comandă și a cablurilor de conectare | L25 |

# 1 Energia reactivă și factorul de putere

*Sistemele de curent alternativ alimentează cu două forme de energie:*
- *„Energie activă” energie măsurată în kWh care este transformată în lucru mecanic, caldură, lumină, etc;*
- *„Energie reactivă” care are două forme:*
  - *„Energie reactivă” cerută de circuite inductive (transformatoare, motoare, etc.),*
  - *„Energie reactivă” furnizată de circuite capacitive (capacitatea cablurilor, condensatoare de putere, etc.).*

## 1.1 Natura energiei reactive

Orice mașină sau dispozitiv inductiv (adică electromagnetic) care este alimentat în curent alternativ transformă energia electrică primită de la sistemul de alimentare în lucru mecanic și căldură. Această energie este măsurată cu contorul de energie activă (în kWh) și este denumită energie activă. În scopul realizării acestei conversii se produc câmpuri magnetice în mașini și aceste câmpuri sunt asociate cu o altă formă de energie preluată din sistemul de alimentare, numită energie reactivă. Aceasta se datorează faptului că dispozitivul inductiv absoarbe ciclic energie de la sistemul de alimentare (în timpul creării câmpului magnetic) și reinjectează această energie în sistem (în timpul anulării câmpului magnetic) de două ori în fiecare perioadă a curentului alternativ de alimentare.
Efectul, asupra rotorului generatorului, este de a-l încetini pe durata unei părți a perioadei și de a-l accelera în timpul celeilalte părți. Acest cuplu pulsant este strict valabil numai pentru alternatoarele monofazate. Pentru alternatoarele trifazate efectul este anulat mutual în cele trei faze deoarece, la orice moment energia reactivă de alimentare în una (sau două) faze este egală cu energia reactivă returnată în celelalte două (sau una) faze în cazul unui sistem echilibrat. Rezultatul este o sarcină medie nulă asupra generatorului, adică componenta reactivă a curentului nu absoarbe putere de la rețea.
Un fenomen similar se întâmplă cu elementele capacitive dintr-un sistem de alimentare, precum capacitatea cablurilor sau bateriile de condensatoare de putere, etc. În acest caz, energia este înmagazinată electrostatic.
Încărcarea și descărcarea ciclică a capacității acționează asupra generatorului din sistem în același mod în care a fost descris anterior (cazul inductiv), dar circulația curentului, către și de la capacități fiind în opoziție de fază față de cel din cazul unei inductanțe. Pe aceste considerații se bazează schemele de compensare a energiei reactive (și îmbunătățire a factorului de putere).
Ar trebui reținut că în timp ce componenta reactivă a curentului de sarcină nu absoarbe putere de la sistem, ea cauzează pierderi de energie în sistemele de transport și distribuție a energiei prin încălzirea conductorilor. Practic, în sistemele de alimentare componentele reactive ale curenților de sarcină au caracter predominant inductiv și impedanțele sistemelor de transport și distribuție sunt predominant capactive. Combinația curent inductiv trecând prin reactanța inductivă produce cele mai neplăcute condiții de cădere de tensiune (adică opoziție directă de fază față de tensiunea sistemului).
Pentru aceste motive (pierderi de putere la transportul energiei electrice și căderi de tensiune) este necesară reducerea curentului inductiv pe cât posibil.
Curentul capacitiv are efect invers asupra nivelului de tensiune și produce o creștere de tensiune in sistemul de alimentare.
Puterea (kW) asociată cu energia “activă” este notată cu P.
Puterea reactiva (kVAR) este notată cu Q. Puterea reactivă inductivă este convențional pozitivă (+ Q) iar cea reactivă capacitivă este considerată negativă (- Q).
**Fig. L1** arată că puterea aparentă S este suma vectorială a puterilor activă și reactivă.
Paragraful 1.3 dă relația între P, Q și S, unde S este puterea aparentă în kVA.

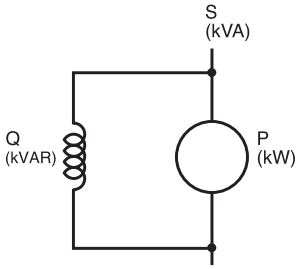



*Fig. L1: Un motor electric absoarbe de la rețea putere activă P și putere reactivă Q.*



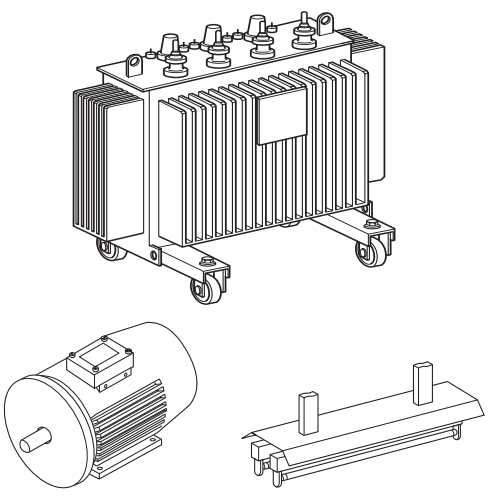


*Fig. L2: Consumatori de energie care solicită energie reactivă.*

## 1.2 Echipamente și instalații care absorb energie reactivă

Orice mașină sau aparat de curent alternativ care include dispozitive electromagnetice sau conține înfășurări cuplate magnetic, absoarbe într-o anumită măsură curent reactiv pentru crearea fluxului magnetic. Cele mai cunoscute elemente din această clasa sunt: transformatorul, bobina de reactanță, motorul și balastul lămpilor cu descărcare (vezi **Fig. L2)**. Raportul dintre puterea reactivă și puterea activă ale unui element, în condiții de sarcină nominală variază:
- 65 - 75% pentru motoare asincrone;
- 5 -10% pentru transformatoare.

*Factorul de putere (Power Factor, PF) este un raport kW pe kVA. Cu cât factorul de putere se apropie de valoarea sa maximă care este 1, cu atât beneficiile pentru consumatorul și furnizorul de energie vor fi mai mari.*
*PF = P (kW)/S (kVA)*
*P = puterea activă*
*S = puterea aparentă.*

## 1.3 Factorul de putere

**Definiția factorului de putere**

Factorul de putere al unei sarcini, care poate consta în unul sau mai mulți consumatori (sau chiar o întreagă instalație) este dat de raportul P/S, adică kW/kVA, la un moment dat.

Factorul de putere ia valori în intervalul 0 la 1.

Dacă curenții și tensiunile au forme de undă perfect sinusoidale atunci factorul de putere este egal cu cos φ.

Un factor de putere apropiat de 1 înseamnă că energia reactivă este mică în comparație cu energia activă în timp ce o valoare mică a factorului de putere indică condiții contrare primei situații.

**Diagrama vectorială a puterilor**

- ■ Puterea activă P (în kW):
- ☐ monofazat (o fază și neutru): $P = VI\cos\varphi$,
- ☐ monofazat (fază și fază): $P = UI\cos\varphi$,
- ☐ trifazat (trei faze sau trei faze și neutru): $P = \sqrt{3}UI\cos\varphi$;
- ■ Puterea reactivă Q (în kVAR):
- ☐ monofazat (o faza si neutru): $Q = VI\sin\varphi$,
- ☐ monofazat (faza si faza): $Q = UI\sin\varphi$,
- ☐ trifazat (trei faze sau trei faze si neutru): $Q = \sqrt{3}UI\sin\varphi$;
- ■ Puterea aparentă S (în kVA):
- ☐ monofazat (o fază și neutru): $S = VI$,
- ☐ monofazat (fază și fază): $S = UI$,
- ☐ trifazat (trei faze sau trei faze și neutru): $S = \sqrt{3}UI$.

unde:

V = tensiunea între fază și neutru
U = tensiunea între faze
I = curentul în circuit
φ = defazajul între V și I

- ☐ pentru sisteme echilibrate sau aproape echilibrate în cazul trei faze și neutru.

**Vectorii de curent și tensiune și diagrama de puteri**

Diagrama "vectorială" a puterii este un artificiu util derivat direct din diagramele de curenți și tensiuni după cum urmează:

Tensiunile sistemului sunt luate ca mărimi de referință, iar în cazul sistemului trifazic cu sarcina echilibrată, din motive de simetrie, ne vom referi numai la o singură fază.

Faza de referință are tensiunea (V) după direcția orizontală și curentul (I) al acelei faze va fi practic întârziat față de tensiune cu un unghi φ pentru orice sarcină. Componenta curentului I care este în fază cu V este componenta activă și este egală cu $I\cos\varphi$, în timp ce $VI\cos\varphi$ este puterea activă (în kW), dacă V este măsurat în kV.

Componenta lui I, defazată cu 90 de grade în urma tensiunii V, este componenta reactivă si este egală cu $I\sin\varphi$, iar $VI\sin\varphi$ este puterea reactivă (în kVAR) din circuit, dacă V este măsurat în kV.

Dacă vectorul I este multiplicat cu V, exprimat în kV, atunci VI este egală cu puterea aparentă din circuit, măsurată în kVA.

Formula obținută este: $S^2 = P^2 + Q^2$.

Valorile de mai sus exprimate în kW, kVAR, kVA asociate unei faze, multiplicate cu trei, reprezintă puterile activă, reactivă și aparentă precum și factorul de putere pentru un sistem trifazat, așa cum se vede în **Figura L3**.

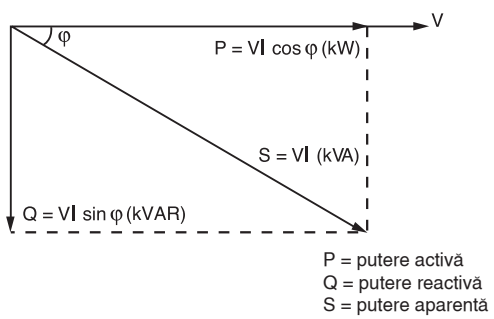



***Fig. L3:*** *Diagrama de puteri.*

# 1 Energia reactivă și factorul de putere

**Un exemplu de calcul al puterii** (vezi **Tab. L4**)

| Tipul circuitului | | Putere aparentă S (kVA) | Putere activă P (kW) | Putere reactivă Q (kVAR) |
|---|---|---|---|---|
| Monofazic (între fază și neutru) | | S = VI | P = VI cos φ | Q = VI sin φ |
| Monofazic (între fază și fază) | | S = UI | P = UI cos φ | Q = UI sin φ |
| Exemplu | sarcină 5 kW<br>cos φ = 0,5 | 10 kVA | 5 kW | 8,7 kVAR |
| Trifazat 3 faze sau 3 faze + neutru | | S = √3UI | P = √3UI cos φ | Q = √3UI sin φ |
| Exemplu | Motor Pn = 51 kW<br>cos φ = 0,86<br>(randament) ρ = 0,91 | 65 kVA | 56 kW | 33 kVAR |

*Tab. L4: Exemple de calcul pentru puterea aparentă, activă si reactivă.*

## 1.4 Valori practice ale factorului de putere

Calculul exemplului trifazat de mai sus este următorul:
Pn = puterea nominală = 51 kW
P = puterea activă consumată

$$P = \frac{Pn}{\rho} = \frac{51}{0,91} = 56 \text{ kW}$$

S = puterea aparentă

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{56}{0,86} = 65 \text{ kVA}$$

Așa că utilizând diagrama din **Fig. L5** sau utilizând un minicalculator, aflăm valoarea tan φ corespunzătoare unui cos φ de 0,86 adică 0,59.
Q = P tan φ = 56 x 0,59 = 33 kVAR (vezi **Tab. L15**).
Sau, folosind teorema lui Pitagora:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{65^2 - 56^2} = 33 \text{ kVAR}$$

**Valori uzuale ale factorului de putere pentru cele mai comune echipamente și aplicații** (vezi **Tab. L6**)

| Echipamente și aplicații | | cos φ | tan φ |
|---|---|---|---|
| ■ Motor cu inducție încărcat la | 0% | 0,17 | 5,80 |
| | 25% | 0,55 | 1,52 |
| | 50% | 0,73 | 0,94 |
| | 75% | 0,80 | 0,75 |
| | 100% | 0,85 | 0,62 |
| ■ Lămpi cu incandescență | | 1,0 | 0 |
| ■ Lămpi fluorescente (necompensate) | | 0,5 | 1,73 |
| ■ Lămpi fluorescente (compensate) | | 0,93 | 0,39 |
| ■ Lămpi cu descărcare | | 0,4 la 0,6 | 2,29 la 1,33 |
| ■ Cuptoare cu elemente rezistive | | 1,0 | 0 |
| ■ Cuptoare cu inducție (compensate) | | 0,85 | 0,62 |
| ■ Cuptoare de tip dielectric | | 0,85 | 0,62 |
| ■ Mașini de lipit rezistive | | 0,8 la 0,9 | 0,75 la 0,48 |
| ■ Aparate de sudură monofazice | | 0,5 | 1,73 |
| ■ Echipament de sudură | | 0,7 la 0,9 | 1,02 la 0,48 |
| ■ Echipament de sudură în c.c. | | 0,7 la 0,8 | 1,02 la 0,75 |
| ■ Cuptor cu arc | | 0,8 | 0,75 |

*Tab. L6: Valori ale cos φ și tan φ pentru cele mai comune echipamente și aplicații.*

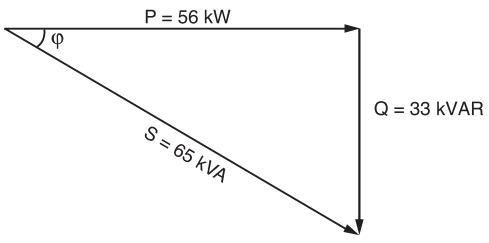



*Fig. L5: Calculul diagramei de puteri.*

# 2 De ce să îmbunătățim factorul de putere ?

*Îmbunătățirea factorului de putere al instalațiilor prezintă mai multe avantaje tehnice și economice, printre care și reducerea facturilor de energie electrică.*

## 2.1 Reducerea costului energiei

Managementul bun al consumului de energie reactivă aduce importante avantaje economice.
Aceste considerații sunt bazate pe structura actuală de tarife aplicate în mod curent în Europa, destinate să încurajeze beneficiarii să micșoreze consumul de energie reactivă.
Instalarea condensatoarelor de compensare a energiei reactive la consumatori permite reducerea notelor de plată la electricitate prin menținerea consumului de putere reactivă sub o anumită valoare, agreată prin contractul cu furnizorul de energie.
În acest tip de tarif, energia reactivă este plătită conform criteriului lui tan $\varphi$.

$$\tan \varphi = \frac{Q\ (kVARh)}{P\ (kWh)}$$

La consumator distribuitorul de energie livrează energie reactivă gratis, până:
- la nivelul de 40% din energia activă (tg $\varphi$ = 0,4) pentru un interval de 16 ore pe zi (de la 6:00 la 22:00) în timpul perioadelor celor mai solicitante (de obicei iarna);
- fără limită în perioada de solicitare redusă iarna, și în timpul primăverii și verii. Pe durata perioadelor de limitare, consumul de energie reactivă care depășește 40% din energia activă este plătit lunar la cursul curent.

Astfel cantitatea de energie reactivă de plată în aceste perioade va fi kVARh (de plătit) = kWh (tan $\varphi$ > 0,4) unde:
- kWh este energia activă consumată în perioada de limitare,
- kWh tg $\varphi$ este energia reactivă totală în perioada de limitare,
- 0,4 kWh este cantitatea de energie reactivă livrată gratis în perioada de limitare.

tan $\varphi$ = 0,4 corespunde unui factor de putere cos $\varphi$ = 0,93 așa că pentru a nu plăti energie reactivă este suficient ca în perioadele de limitare, cos $\varphi$ să nu scadă sub 0,93.
În fața avantajelor notelor de plată scăzute consumatorul trebuie să pună în balanță costul achiziționării, instalării și utilizării condensatoarelor de compensare a energiei reactive, aparaturii de protecție și comandă, întreruptorului automat împreună, cu consumul suplimentar de kWh datorat pierderilor în dielectricul condensatoarelor, etc..
Este posibil să fie mai economic să se facă compensarea numai parțial și ca plata unei părți din energia reactivă să fie mai avantajoasă decât o compensare de 100%.
În general, corecția factorului de putere este o problemă de optimizare, cu excepția unor cazuri foarte simple.

*Îmbunătățirea factorului de putere permite utilizarea unor transformatoare, cabluri și aparate mai mici în același timp cu reducerea pierderilor și a căderii de tensiune dintr-o instalație.*

## 2.2 Optimizare tehnico-economică

Un factor de putere mai mare permite optimizarea componentelor unei instalații. Supradimensionarea unui echipament poate fi evitată, dar pentru a obține cele mai bune rezultate corecția ar trebui făcută pe cât posibil cât mai aproape de fiecare componentă a echipamentelor inductive.

**Reducerea dimensiunii cablurilor**
**Tabelul L7** arată creșterea dimensiunii cablurilor atunci când factorul de putere scade de la 1 la 0,4.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Factorul de multiplicare a secțiunii transversale a miezului cablului | 1 | 1,25 | 1,67 | 2,5 |
| cos $\varphi$ | 1 | 0,8 | 0,6 | 0,4 |

***Tab. L7:*** *Factorul de multiplicare a dimensiunii cablurilor în funcție de cos $\varphi$.*

# 2 De ce să îmbunătățim factorul de putere ?

**Reducerea pierderilor (P, kW) în cabluri**
Pierderile în cabluri sunt proporționale cu pătratul curentului și sunt măsurate cu kWh-metrul. Reducerea curentului într-un conductor cu 10% de exemplu, duce la scăderea pierderilor cu circa 20%.

**Reducerea căderii de tensiune**
Condensatoarele montate pentru compensarea energiei reactive reduc sau chiar anulează curentul reactiv inductiv în conductorii din amonte, reducând astfel sau chiar eliminând căderile de tensiune.
**Notă:** supracompensarea produce o creștere a tensiunii pe condensator.

**Creșterea puterii disponibile**
În îmbunătățirea factorului de putere al unei sarcini alimentată de la un transformator curentul prin transformator se va reduce, permițând astfel adăugarea unor alte sarcini. În practică, poate fi mai avantajos să îmbunătățești factorul de putere[1] decât să înlocuiești transformatorul cu unul mai mare.
Această problemă este detaliată în subcapitolul 6.

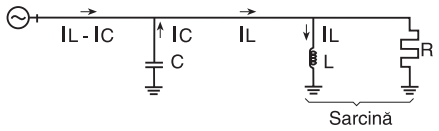


*(1) Întrucât și alte beneficii survin la o valoare mai mare a cos φ precum s-a arătat mai înainte.*

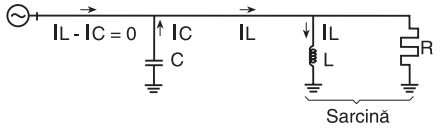
# 3 Cum să îmbunătățim factorul de putere?

*Îmbunătățirea factorului de putere pentru o instalație necesită o baterie de condensatoare care acționează ca o sursă de energie reactivă. Se spune că acest montaj asigură compensarea energiei reactive.*

**a**) Modelul circulației curenților reactivi




**b**) Atunci când $I_C = I_L$ toată puterea reactivă este furnizată de bateria de condensatoare




**c**) Curentul sarcinii adăugat la cazul (**b**)

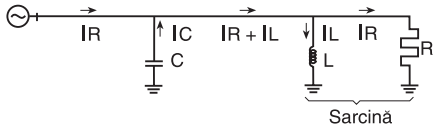



***Fig. L8:*** *Exemplificarea caracteristicilor esențiale ale compensării energiei reactive.*

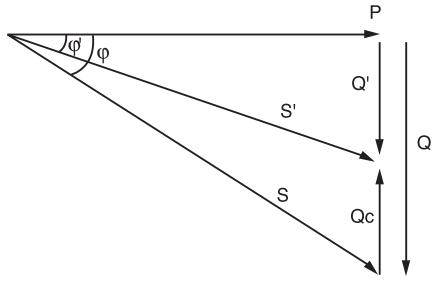



***Fig. L9:*** *Diagramă exemplificând principiul compensării* $Q_c = P (\tan \varphi - \tan \varphi')$.

## 3.1 Principii teoretice

O sarcină inductivă cu factor de putere mic face să apară în generator și în sistemele de transport/distribuție un curent reactiv (defazat cu 90° în urma tensiunii) însoțit de pierderi de putere și căderi de tensiune, după cum s-a arătat în subcapitolul 1.1. Dacă se adaugă sarcinii o baterie de condensatoare în paralel, curentul reactiv capacitiv al acesteia va urma același traseu în circuit ca și curentul reactiv existent anterior. Deoarece, conform paragrafului 1.1, acest curent capacitiv $I_C$ (care prezintă un defazaj de 90°, înaintea tensiunii) este în opoziție de fază cu curentul reactiv anterior ($I_L$), iar ambii curenți circulă pe același traseu, aceștia se pot anula reciproc. Dacă bateria de condensatoare este suficient de mare, se poate ca $I_C = I_L$ și deci să nu mai existe curent reactiv în circuitul din amonte de condensatoare.
Aceasta se observă în **Fig. L8 (a)** și **(b)** care prezintă numai curenți reactivi.
În această figură:

**R** reprezintă elementele de putere activă ale sarcinii
**L** reprezintă elementele de putere reactivă (inductivă) ale sarcinii
**C** reprezintă elementele cu putere reactivă (capacitivă) din echipamentul de corecție a factorului de putere (adică condensatori).

Din diagrama **(b)** a **Fig. L8** se observă că bateria de condensatoare C alimentează tot curentul reactiv solicitat de sarcină. Din acest motiv condensatoarele sunt denumite uneori generatoare de putere reactivă în avans.
În diagrama **(c)** a **Fig. L8** este adaugată componenta activă a curentului și se vede că la o compensare totală sarcina apare ca un sistem rezistiv, deci cu un factor de putere 1.
În general nu este economic să se compenseze total o instalație electrică.
**Figura L9** folosește diagrama prezentată în subcapitolul 1.3 (vezi **Fig. L3**) pentru a ilustra principiul compensării parțiale a puterii reactive de la valoarea Q la Q' folosind o baterie de condensatoare de putere $Q_c$. Puterea aparentă inițială S se reduce la S'.

**Exemplu:**
Un motor consumă 100 kW la cos φ =0,75 (adică tan φ = 0,88). Pentru a mări cos φ la 0,93 (adică tan φ = 0,4) este necesară o baterie de condensatoare cu puterea reactivă: $Q_c$ = 100 (0,88 - 0,4) = 48 kVAR. Alegerea nivelului de compensare și a calculului parametrilor pentru bateria de condensatoare depind de instalație. Factorii care cer atenție sunt explicați în subcapitolele 5 (generalități), 6 și 7 (transformatoare și motoare).
**Notă:** Înainte de abordarea proiectului de compensare trebuie luate anumite precauții. În particular, supradimensionarea motoarelor ar trebui evitată, de asemenea funcționarea în gol a acestora. În cazul mersului în gol factorul de putere este foarte redus, (≈ 0,17) pentru că puterea activă absorbită de motor este foarte mică.

## 3.2 Ce echipamente utilizăm?

### Compensarea la JT

La joasă tensiune compensarea se face cu:
- condensatoare de valoare fixă;
- echipament prevăzut cu reglare automată sau baterie de condensatoare care permite ajustarea continuă în concordanță cu cerințele impuse de modificarea sarcinii.

**Notă:** Când puterea reactivă instalată de compensat depășește 800 kVAR și sarcina este stabilă este adesea mai economic să se utilizeze baterii de condensatoare pe partea de medie tensiune.

# 3 Cum să îmbunătățim factorul de putere?

*Compensarea poate fi efectuată de o baterie de condensatoare de valoare fixă, în circumstanțe favorabile.*

## Baterii de condensatoare cu valoare fixă (vezi **Fig. L10**)

Această soluție folosește unul sau mai multe condensatoare pentru a obține un anumit nivel de compensare. Comanda poate fi:
- manuală: prin întreruptor automat sau prin separator de sarcină;
- semi-automată: prin contactor;
- prin legare directă la un echipament electric și comutare odată cu comutarea acestuia.

Aceste condensatoare sunt montate:
- la bornele receptorilor inductivi (motoare și transformatoare);
- pe barele de distribuție de la care se alimentează motoare mici sau consumatori inductivi și pentru care compensarea individuală ar fi prea costisitoare;
- în cazurile în care nivelul sarcinii este în general constant.

***Fig. L10:*** *Exemplu de baterie de condensatoare de valoare fixă (Varset direct).*

*De obicei compensarea este efectuată de baterii de condensatoare în trepte, cu reglaj automat.*

## Baterii de condensatoare automate (vezi **Fig. L11**)

Acest gen de echipament efectuează controlul automat al compensării, menținând în niște limite strânse valoarea factorului de putere. Astfel de echipament se montează în locurile în care se produc variații mari de puteri active și/sau reactive, de exemplu:
- pe barele tabloului general de distribuție;
- la bornele unui cablu de alimentare, pentru sarcina mare.

***Fig. L11:*** *Exemplu de baterie de condensatoare în trepte, cu reglaj automat (Varset).*

*Bateriile de condensatoare automate permit adaptarea imediată a compensării, în funcție de nivelul sarcinii.*

## Principii și oportunități de utilizare a compensării automate

O baterie de condensatoare este împărțită într-un număr de secțiuni, fiecare fiind comandată de un contactor. Închiderea unui contactor pune secțiunea aferentă în paralel cu altele care deja sunt conectate. În felul acesta, valoarea capacității bateriei poate fi modificată în trepte.
Un releu de control monitorizează factorul de putere al circuitului respectiv și este reglat să închidă și să deschidă contactoarele necesare pentru a menține o valoare constantă a factorului de putere (în toleranțele impuse de dimensiunea fiecărei trepte de compensare). Transformatorul de curent pentru releul de monitorizare trebuie plasat pe una din fazele cablului de intrare care alimentează circuitul, conform **Fig. L12**.
Bateria de compensare automată Varset Fast, similară ca principiu **Fig. L12** este un echipament de compensare automată a energiei reactive utilizând comutația statică (tiristori) în locul contactorilor uzuali.

Avantajele comutației statice sunt următoarele:
- răspuns imediat la toate fluctuațiile factorului de putere (timp de răspuns 2 s sau 40 ms, în funcție de opțiunile regulatorului);
- număr nelimitat de cicluri închis/deschis;
- eliminarea fenomenelor tranzitorii din rețea la comutația condensatorilor;
- funcționare silențioasă.

Prin compensarea la valoare apropiată de cea cerută de sarcină, posibilitatea de producere a supratensiunilor la sarcină redusă va fi evitată, reducându-se astfel probabilitatea de defectare a utilajelor și a echipamentelor. Supratensiunile cauzate de supracompensarea energiei reactive depind parțial de valoarea impedanței sursei.

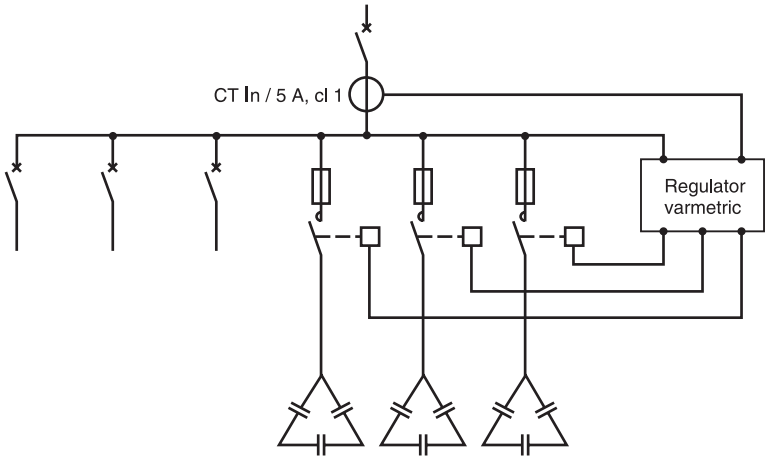



***Fig. L12:*** *Principiul bateriei de condensatoare în trepte, cu reglaj automat.*

## 3.3 Alegerea între bateria de condensatoare fixă sau cu reglaj automat

### Reguli comune

Când valoarea puterii reactive a condensatoarelor este mai mică sau egală cu 15% din valoarea puterii transformatorului de alimentare se recomandă o baterie de condensatoare de valoare fixă. Peste 15%, este recomandată o baterie de condensatoare controlată automat.
Dispunerea condensatoarelor de JT într-o instalație constituie modalitatea de compensare care poate fi: globală (plasament într-un singur punct pentru întreaga instalație), sectorială (sector cu sector), locală (la fiecare dispozitiv în parte) sau o combinație a ultimelor două. În principiu, compensarea ideală este aplicată la locul de consum și are nivelul în acord cu valorile instantanee de putere.
În practică alegerea este decisă de factori tehnici și economici.

# 4 Unde se instalează condensatoarele pentru compensarea energiei reactive?

*Când sarcina este continuă și stabilă se poate aplica compensarea globală.*

## 4.1 Compensare globală (vezi Fig. L13)

**Principiu**

Bateria de condensatoare este conectată la barele tabloului general de distribuție de JT a instalației și rămâne în funcțiune pe durata regimului normal.

**Avantaje**

Compensarea de tip global:

- reduce penalitățile de depășire a consumului de energie reactivă contractat;
- reduce cererea de putere aparentă, pe care se bazează funcționarea sarcinilor permanente;
- reduce încărcarea transformatorului, care devine apt pentru o sarcină mai mare, dacă este nevoie.

**Comentarii**

- curentul reactiv continuă să existe în toate conductoarele cablurilor care pleacă de la tabloul principal de distribuție de JT;
- din motivul enunțat, dimensionarea acestor cabluri și a pierderilor de putere din ele, nu este îmbunătățită printr-o compensare globală.

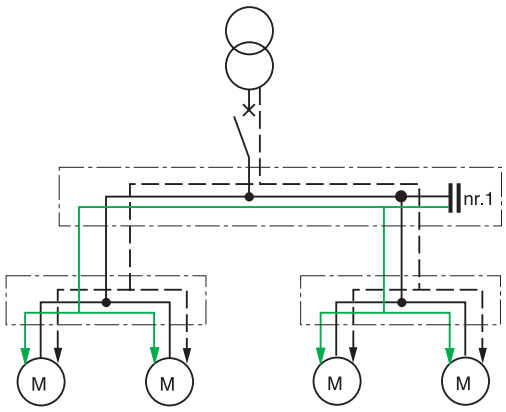



*Fig. L13: Compensare globală.*

*Compensarea sectorială este recomandată când instalația este extinsă și în cazul în care evoluția sarcinii de timp diferă în diferite părți ale instalației.*

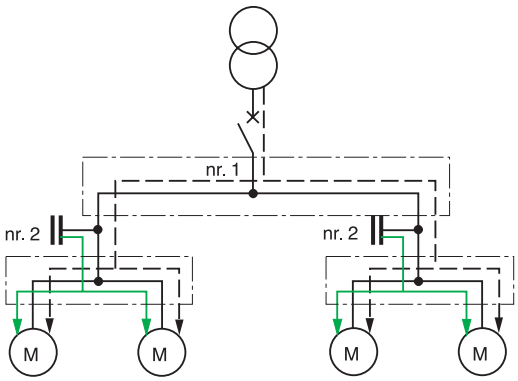



*Fig. L14: Compensarea sectorială.*

## 4.2 Compensare sectorială (vezi Fig. L14)

**Principiu**

Bateria de condensatoare este conectată la barele de distribuție ale fiecărui tablou de distribuție intermediar, ca în **Fig. L14**.

De această alegere beneficiază o parte semnificativă a instalației, în particular cablul de alimentare de la tabloul general de distribuție la fiecare tablou intermediar, unde sunt aplicate măsurile de compensare.

**Avantaje**

Compensarea pe sectoare:

- reduce penalitățile pentru consum excesiv de putere reactivă;
- reduce cererea de putere aparentă pe care se bazează funcționarea sarcinilor permanente;
- menajează transformatorul care devine apt pentru o sarcină mai mare, dacă este necesar;
- dimensiunile cablurilor în distribuția locală se pot reduce sau se pot alimenta sarcini suplimentare;
- pierderile în aceleași cabluri se reduc.

**Comentarii**

- curentul reactiv continuă să circule în toate cablurile din aval de tablourile de distribuție intermediare;
- din acest motiv nu se pot optimiza dimensiunile cablurilor și nu este posibilă diminuarea pierderilor din ele prin compensarea sectorială;
- când au loc modificări mari de sarcină există riscul de supracompensare și în consecință de supratensiune, cu problemele aferente.

*Se ia în considerare compensarea individuală atunci când puterea motorului este semnificativă în comparație cu puterea întregii instalații.*

## 4.3 Compensare individuală

**Principiu**

Condensatoarele sunt conectate direct la bornele mașinii inductive (în special motoare, vezi subcapitolul 7). Compensarea individuală poate fi utilizată atunci când puterea motorului este semnificativă în raport cu puterea totală a instalației (kVA). Valoarea puterii reactive în bateria de condensatoare este de ordinul 25% din puterea activă a motorului. De asemenea, o compensare suplimentară la originile instalației (aproape de transformator) se poate dovedi avantajoasă.

**Avantaje**

Compensarea individuală:
- reduce penalitățile pentru consumul excesiv de putere reactivă;
- reduce puterea aparentă cerută;
- reduce dimensiunile cablurilor și pierderile în acestea.

**Comentarii**
- nu mai există curenți reactivi semnificativi în instalație.

# 5 Cum să hotărâm nivelul optim de compensare?

## 5.1 Metoda generală

**Listarea cererilor de putere reactivă în etapa de proiectare**
Această listă se face în același fel ca cea pentru puterea aparentă, descrisă în capitolul A. Se pot determina valorile de putere activă și reactivă ale sarcinii la fiecare nivel al instalației (în punctele de distribuție și subdistribuție).

**Optimizarea tehnico-economică pentru o instalație existentă**
Valoarea optimă a capacităților de compensare, pentru o instalație existentă, se determină cu ajutorul următoarelor considerații principale:
- facturile anterioare instalării condensatoarelor;
- costurile diminuate, în urma instalării condensatoarelor;
- costurile pentru:
  - achiziționarea condensatoarelor și a echipamentului de comandă (contactoare, dulapuri, controlere, etc.),
  - instalare și întreținere,
  - pierderile prin încălzirea dielectricului din condensatoare în comparație cu reducerea pierderilor în cabluri, transformator, etc. ca urmare a instalării bateriei de condensatoare.

În subcapitolele 5.3 ,5.4 se dau mai multe metode simplificate de calcul a tarifelor (comune pentru Europa).

## 5.2 Metoda simplificată

**Principiu general**
Pentru cele mai multe cazuri practice, este recomandabil un calcul aproximativ care poate fi bazat pe ipoteza că cos $\varphi$ = 0,8 (inductiv) înainte de compensare. Cu scopul de a corecta factorul de putere la o valoare suficientă pentru a evita penalitățile (aceasta depinde de structura locală a tarifelor, dar în acest exemplu va fi propusă valoarea 0,93) și pentru a reduce pierderile, căderile de tensiune, etc. în instalație, se poate lua ca referință **Tab. L15** de pe pagina următoare.
Pentru creșterea de la 0,8 la 0,93 a factorului de putere, sunt necesari 0,355 kVAR pentru fiecare kW de sarcină. Deci puterea reactivă într-o baterie de condensatoare conectată la barele tabloului principal de distribuție este Q(kVAR) = 0,355 x P(kW). Această aproximație simplă permite determinarea rapidă a cerințelor condensatoarelor de compensare la modul global, parțial sau individual.

**Exemplu**
Puterea instalației este 666 kVA. Se cere corectarea factorului de putere de la 0,75 la 0,928. Puterea activă necesară este: 666 x 0,75 = 500 kW.
În **Tab. L15** la intersecția liniei de cos $\varphi$ = 0,75 cu coloana de cos $\varphi$ = 0,93 se obține valoarea 0,487 kVAR/kW. Pentru 500 kW rezultă 500 x 0,487 = 244 kVAR puterea corespunzătoare capacității de compensare.
**Notă:** această metodă este valabilă pentru orice nivel de tensiune, adică este independentă de tensiune.

| Înainte de compensare | | kVAR ai bateriei de condensatoare de instalat pe kW de sarcină, pentru a îmbunătăți cos φ sau tan φ la valoarea dorită | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | tan φ | 0,75 | 0,59 | 0,48 | 0,46 | 0,43 | 0,40 | 0,36 | 0,33 | 0,29 | 0,25 | 0,20 | 0,14 | 0,0 |
| tan φ | cos φ | cos φ | 0,80 | 0,86 | 0,90 | 0,91 | 0,92 | 0,93 | 0,94 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,98 | 0,99 | 1 |
| 2,29 | 0,40 | | 1,557 | 1,691 | 1,805 | 1,832 | 1,861 | 1,895 | 1,924 | 1,959 | 1,998 | 2,037 | 2,085 | 2,146 | 2,288 |
| 2,22 | 0,41 | | 1,474 | 1,625 | 1,742 | 1,769 | 1,798 | 1,831 | 1,840 | 1,896 | 1,935 | 1,973 | 2,021 | 2,082 | 2,225 |
| 2,16 | 0,42 | | 1,413 | 1,561 | 1,681 | 1,709 | 1,738 | 1,771 | 1,800 | 1,836 | 1,874 | 1,913 | 1,961 | 2,022 | 2,164 |
| 2,10 | 0,43 | | 1,356 | 1,499 | 1,624 | 1,651 | 1,680 | 1,713 | 1,742 | 1,778 | 1,816 | 1,855 | 1,903 | 1,964 | 2,107 |
| 2,04 | 0,44 | | 1,290 | 1,441 | 1,558 | 1,585 | 1,614 | 1,647 | 1,677 | 1,712 | 1,751 | 1,790 | 1,837 | 1,899 | 2,041 |
| 1,98 | 0,45 | | 1,230 | 1,384 | 1,501 | 1,532 | 1,561 | 1,592 | 1,628 | 1,659 | 1,695 | 1,737 | 1,784 | 1,846 | 1,988 |
| 1,93 | 0,46 | | 1,179 | 1,330 | 1,446 | 1,473 | 1,502 | 1,533 | 1,567 | 1,600 | 1,636 | 1,677 | 1,725 | 1,786 | 1,929 |
| 1,88 | 0,47 | | 1,130 | 1,278 | 1,397 | 1,425 | 1,454 | 1,485 | 1,519 | 1,532 | 1,588 | 1,629 | 1,677 | 1,758 | 1,881 |
| 1,83 | 0,48 | | 1,076 | 1,228 | 1,343 | 1,370 | 1,400 | 1,430 | 1,464 | 1,497 | 1,534 | 1,575 | 1,623 | 1,684 | 1,826 |
| 1,78 | 0,49 | | 1,030 | 1,179 | 1,297 | 1,326 | 1,355 | 1,386 | 1,420 | 1,453 | 1,489 | 1,530 | 1,578 | 1,639 | 1,782 |
| 1,73 | 0,50 | | 0,982 | 1,232 | 1,248 | 1,276 | 1,303 | 1,337 | 1,369 | 1,403 | 1,441 | 1,481 | 1,529 | 1,590 | 1,732 |
| 1,69 | 0,51 | | 0,936 | 1,087 | 1,202 | 1,230 | 1,257 | 1,291 | 1,323 | 1,357 | 1,395 | 1,435 | 1,483 | 1,544 | 1,686 |
| 1,64 | 0,52 | | 0,894 | 1,043 | 1,160 | 1,188 | 1,215 | 1,249 | 1,281 | 1,315 | 1,353 | 1,393 | 1,441 | 1,502 | 1,644 |
| 1,60 | 0,53 | | 0,850 | 1,000 | 1,116 | 1,144 | 1,171 | 1,205 | 1,237 | 1,271 | 1,309 | 1,349 | 1,397 | 1,458 | 1,600 |
| 1,56 | 0,54 | | 0,809 | 0,959 | 1,075 | 1,103 | 1,130 | 1,164 | 1,196 | 1,230 | 1,268 | 1,308 | 1,356 | 1,417 | 1,559 |
| 1,52 | 0,55 | | 0,769 | 0,918 | 1,035 | 1,063 | 1,090 | 1,124 | 1,156 | 1,190 | 1,228 | 1,268 | 1,316 | 1,377 | 1,519 |
| 1,48 | 0,56 | | 0,730 | 0,879 | 0,996 | 1,024 | 1,051 | 1,085 | 1,117 | 1,151 | 1,189 | 1,229 | 1,277 | 1,338 | 1,480 |
| 1,44 | 0,57 | | 0,692 | 0,841 | 0,958 | 0,986 | 1,013 | 1,047 | 1,079 | 1,113 | 1,151 | 1,191 | 1,239 | 1,300 | 1,442 |
| 1,40 | 0,58 | | 0,665 | 0,805 | 0,921 | 0,949 | 0,976 | 1,010 | 1,042 | 1,076 | 1,114 | 1,154 | 1,202 | 1,263 | 1,405 |
| 1,37 | 0,59 | | 0,618 | 0,768 | 0,884 | 0,912 | 0,939 | 0,973 | 1,005 | 1,039 | 1,077 | 1,117 | 1,165 | 1,226 | 1,368 |
| 1,33 | 0,60 | | 0,584 | 0,733 | 0,849 | 0,878 | 0,905 | 0,939 | 0,971 | 1,005 | 1,043 | 1,083 | 1,131 | 1,192 | 1,334 |
| 1,30 | 0,61 | | 0,549 | 0,699 | 0,815 | 0,843 | 0,870 | 0,904 | 0,936 | 0,970 | 1,008 | 1,048 | 1,096 | 1,157 | 1,299 |
| 1,27 | 0,62 | | 0,515 | 0,665 | 0,781 | 0,809 | 0,836 | 0,870 | 0,902 | 0,936 | 0,974 | 1,014 | 1,062 | 1,123 | 1,265 |
| 1,23 | 0,63 | | 0,483 | 0,633 | 0,749 | 0,777 | 0,804 | 0,838 | 0,870 | 0,904 | 0,942 | 0,982 | 1,030 | 1,091 | 1,233 |
| 1,20 | 0,64 | | 0,450 | 0,601 | 0,716 | 0,744 | 0,771 | 0,805 | 0,837 | 0,871 | 0,909 | 0,949 | 0,997 | 1,058 | 1,200 |
| 1,17 | 0,65 | | 0,419 | 0,569 | 0,685 | 0,713 | 0,740 | 0,774 | 0,806 | 0,840 | 0,878 | 0,918 | 0,966 | 1,007 | 1,169 |
| 1,14 | 0,66 | | 0,388 | 0,538 | 0,654 | 0,682 | 0,709 | 0,743 | 0,775 | 0,809 | 0,847 | 0,887 | 0,935 | 0,996 | 1,138 |
| 1,11 | 0,67 | | 0,358 | 0,508 | 0,624 | 0,652 | 0,679 | 0,713 | 0,745 | 0,779 | 0,817 | 0,857 | 0,905 | 0,966 | 1,108 |
| 1,08 | 0,68 | | 0,329 | 0,478 | 0,595 | 0,623 | 0,650 | 0,684 | 0,716 | 0,750 | 0,788 | 0,828 | 0,876 | 0,937 | 1,079 |
| 1,05 | 0,69 | | 0,299 | 0,449 | 0,565 | 0,593 | 0,620 | 0,654 | 0,686 | 0,720 | 0,758 | 0,798 | 0,840 | 0,907 | 1,049 |
| 1,02 | 0,70 | | 0,270 | 0,420 | 0,536 | 0,564 | 0,591 | 0,625 | 0,657 | 0,691 | 0,729 | 0,769 | 0,811 | 0,878 | 1,020 |
| 0,99 | 0,71 | | 0,242 | 0,392 | 0,508 | 0,536 | 0,563 | 0,597 | 0,629 | 0,663 | 0,701 | 0,741 | 0,783 | 0,850 | 0,992 |
| 0,96 | 0,72 | | 0,213 | 0,364 | 0,479 | 0,507 | 0,534 | 0,568 | 0,600 | 0,634 | 0,672 | 0,712 | 0,754 | 0,821 | 0,963 |
| 0,94 | 0,73 | | 0,186 | 0,336 | 0,452 | 0,480 | 0,507 | 0,541 | 0,573 | 0,607 | 0,645 | 0,685 | 0,727 | 0,794 | 0,936 |
| 0,91 | 0,74 | | 0,159 | 0,309 | 0,425 | 0,453 | 0,480 | 0,514 | 0,546 | 0,580 | 0,618 | 0,658 | 0,700 | 0,767 | 0,909 |
| 0,88 | 0,75 | | 0,132 | 0,82 | 0,398 | 0,426 | 0,453 | 0,487 | 0,519 | 0,553 | 0,591 | 0,631 | 0,673 | 0,740 | 0,882 |
| 0,86 | 0,76 | | 0,105 | 0,255 | 0,371 | 0,399 | 0,426 | 0,460 | 0,492 | 0,526 | 0,564 | 0,604 | 0,652 | 0,713 | 0,855 |
| 0,83 | 0,77 | | 0,079 | 0,229 | 0,345 | 0,373 | 0,400 | 0,434 | 0,466 | 0,500 | 0,538 | 0,578 | 0,620 | 0,687 | 0,829 |
| 0,80 | 0,78 | | 0,053 | 0,202 | 0,319 | 0,347 | 0,374 | 0,408 | 0,440 | 0,474 | 0,512 | 0,552 | 0,594 | 0,661 | 0,803 |
| 0,78 | 0,79 | | 0,026 | 0,176 | 0,292 | 0,320 | 0,347 | 0,381 | 0,413 | 0,447 | 0,485 | 0,525 | 0,567 | 0,634 | 0,776 |
| 0,75 | 0,80 | | | 0,150 | 0,266 | 0,294 | 0,321 | 0,355 | 0,387 | 0,421 | 0,459 | 0,499 | 0,541 | 0,608 | 0,750 |
| 0,72 | 0,81 | | | 0,124 | 0,240 | 0,268 | 0,295 | 0,329 | 0,361 | 0,395 | 0,433 | 0,473 | 0,515 | 0,582 | 0,724 |
| 0,70 | 0,82 | | | 0,098 | 0,214 | 0,242 | 0,269 | 0,303 | 0,335 | 0,369 | 0,407 | 0,447 | 0,489 | 0,556 | 0,698 |
| 0,67 | 0,83 | | | 0,072 | 0,188 | 0,216 | 0,243 | 0,277 | 0,309 | 0,343 | 0,381 | 0,421 | 0,463 | 0,530 | 0,672 |
| 0,65 | 0,84 | | | 0,046 | 0,162 | 0,190 | 0,217 | 0,251 | 0,283 | 0,317 | 0,355 | 0,395 | 0,437 | 0,504 | 0,645 |
| 0,62 | 0,85 | | | 0,020 | 0,136 | 0,164 | 0,191 | 0,225 | 0,257 | 0,291 | 0,329 | 0,369 | 0,417 | 0,478 | 0,620 |
| 0,59 | 0,86 | | | | 0,109 | 0,140 | 0,167 | 0,198 | 0,230 | 0,264 | 0,301 | 0,343 | 0,390 | 0,450 | 0,593 |
| 0,57 | 0,87 | | | | 0,083 | 0,114 | 0,141 | 0,172 | 0,204 | 0,238 | 0,275 | 0,317 | 0,364 | 0,424 | 0,567 |
| 0,54 | 0,88 | | | | 0,054 | 0,085 | 0,112 | 0,143 | 0,175 | 0,209 | 0,246 | 0,288 | 0,335 | 0,395 | 0,538 |
| 0,51 | 0,89 | | | | 0,028 | 0,059 | 0,086 | 0,117 | 0,149 | 0,183 | 0,230 | 0,262 | 0,309 | 0,369 | 0,512 |
| 0,48 | 0,90 | | | | | 0,031 | 0,058 | 0,089 | 0,121 | 0,155 | 0,192 | 0,234 | 0,281 | 0,341 | 0,484 |

Valori selectate ca exemplu în subparagraful 5.2.

Valori selectate ca exemplu în subparagraful 5.4.

*Tab. L15: kVAR de instalat pentru un kW de sarcină, pentru a îmbunătăți factorul de putere dintr-o instalație.*

# 5 Cum să hotărâm nivelul optim de compensare?

*Examinarea diverselor facturi de energie acoperind perioada dificilă a anului, relativ la sarcină, permite determinarea nivelului de compensare necesar pentru a evita plata de energie reactivă în exces, în cazul anumitor tipuri de tarife. Perioada de amortizare a unei baterii de condensatoare și a echipamentului aferent este în general de 18 luni.*

## 5.3 Metoda bazată pe evitarea penalizărilor tarifare

Metoda următoare permite calculul valorii unei baterii de condensatoare bazat pe detaliile din factura de energie, unde structura tarifului corespunde celei descrise în subcapitolul 2.1 al acestui capitol.
Această metodă determină compensarea minimă necesară pentru a evita aceste plăți, care se bazează pe consumul de kVARh.
Procedura este următoarea:
- Se consideră cheltuielile cu consumul pe 5 luni de iarnă (în Franța noiembrie-martie inclusiv).

**Notă:** În zone cu climat tropical, perioada cu consumul cel mai mare este vara (datorită consumului cu aerul condiționat) astfel că și în acest caz apare o perioadă cu tarif mare. În prezentul exemplu ne vom referi la condițiile de iarnă din Franța.
- Se identifică cuantumul cheltuielilor referitoare la "consumul de energie reactivă" și "kVARh de tarifat". Se alege nota de plată care conține cel mai mare număr de kVARh (după verificarea faptului că aceasta nu este o situație excepțională). De exemplu 15.966 kVARh în ianuarie.
- Se evaluează întreaga perioadă de lucru din această lună, de exemplu 220 ore = 22 zile x 10 ore/zi. Orele care trebuie luate în considerare sunt cele din intervalul în care sarcina este cea mai dificilă și în care survine în cel mai mare vârf de sarcină din sistemul energetic. Această situație este dată în documentele de tarifare și durează 16 ore în fiecare zi între 6:00 si 22:00 sau între 7:00 și 23:00, funcție de regiune. În afara acestui interval, nu există nici o plată relativă la consumul de energie reactivă.
- Valoarea de compensat în kVAR = kVARh din nota de plată/numărul de ore de funcționare[1] = $Q_c$.

Valoarea capacității bateriei de condensatoare se alege ușor mai mare decât cea calculată.
Unii producători pot oferi nomograme, elaborate special pentru a facilita aceste calcule, în concordanță cu tarifele specifice. Aceste elemente și documentația aferentă recomandă echipamentul potrivit și schemele de comandă, atrăgând atenția asupra constrângerilor impuse de tensiunile armonice din sistemul energetic. Asemenea tensiuni implică condensatoare supradimensionate (în ce privește disiparea de căldură și valorile tensiunii și curentului) și/sau inductanțe sau filtre de suprimare a armonicilor.

## 5.4 Metoda bazată pe reducerea puterii aparente contractate

Pentru consumatorii pentru care tarifările sunt bazate pe o plată fixă per kVA declarat, plus o plată pe kWh consumat, este evident că o reducere a numărului de kVA declarați este benefică. Diagrama din **Fig. L16** arată că la creșterea factorului de putere valoarea puterii aparente scade atunci când puterea activă rămâne constantă.
Corecția factorului de putere urmărește (în afară de alte avantaje) reducerea nivelului declarat al puterii aparente și nedepășirea acestuia în nici o situație. În felul acesta, se evită plata unor prețuri excesive pentru kVA în perioadele critice și/sau declanșarea întreruptorului principal al circuitului. **Tabelul L15** (de pe pagina anterioară) indică numărul de kVAR de compensat per kW de sarcină, necesar pentru corelația factorului de putere de la o valoare la alta.

*Pentru tarifele în 2 părți (binome), bazate în parte pe valoarea declarată a puterii aparente, **Tabelul L17** permite determinarea puterii reactive de compensat, necesară reducerii puterii aparente declarate și prevenirii depășirii acesteia.*

L14

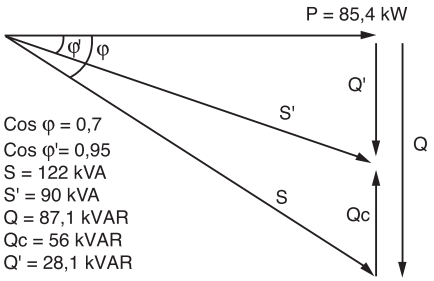



***Fig. L16:*** *Reducerea puterii maxime contractate (kVA) prin îmbunătățirea factorului de putere.*

**Exemplu:**
Un supermagazin a declarat o sarcină de 122 kVA la un factor de putere de 0,7, adică puterea activă este 85,4 kW. Contractul acestui consumator este bazat pe o valoare în trepte declarată pentru puterea aparentă (trepte de 6 kVA până la 108 kVA și de 12 kVA peste această valoare; aceasta este o caracteristică comună a multor tarife în două părți sau binomiale). În exemplul dat, nota de plată se va face pentru 132 kVA. Folosind **Tabelul K15** se poate vedea că o baterie de condensatoare de 60 kVAR va corecta factorul de putere de la 0,7 la 0,95.

Valoarea puterii aparente devine $\frac{85,4}{0,95} = 90$ kVA, deci constatăm o îmbunătățire cu 30%.

***(1)*** *În perioada de facturare în orele în care energia reactivă este tarifată pentru cazul considerat mai sus:*

$$Qc = \frac{15,996 \text{ kVARh}}{220 \text{ h}} = 73 \text{ kVAR}$$

# 6 Compensarea la bornele transformatorului

*Instalarea unei baterii de condensatoare poate evita necesitatea schimbării transformatorului, în eventualitatea creșterii sarcinii.*

## 6.1 Compensarea pentru creșterea puterii active disponibile

Măsurile similare acelora luate pentru reducerea puterii aparente maxime declarate, adică îmbunătățirea factorului de putere, conform subcapitolului 5.4 îmbunătățesc funcționarea transformatorului prin mărirea puterii active debitate.
În cazul creșterii sarcinii este posibil ca în acest mod să se evite înlocuirea transformatorului cu o unitate mai mare. **Tabelul L17** prezintă în mod direct disponibilitatea de putere (kW) a transformatoarelor încărcate la sarcină maximă la diferiți factori de putere, din care se poate observa creșterea puterii active de ieșire pe măsura creșterii factorului de putere.

| tan φ | cos φ | Puterea aparentă nominală a transformatorului (kVA) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 100 | 160 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 |
| 0,00 | 1 | 100 | 160 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 |
| 0,20 | 0,98 | 98 | 157 | 245 | 309 | 392 | 490 | 617 | 784 | 980 | 1225 | 1568 | 1960 |
| 0,29 | 0,96 | 96 | 154 | 240 | 302 | 384 | 480 | 605 | 768 | 960 | 1200 | 1536 | 1920 |
| 0,36 | 0,94 | 94 | 150 | 235 | 296 | 376 | 470 | 592 | 752 | 940 | 1175 | 1504 | 1880 |
| 0,43 | 0,92 | 92 | 147 | 230 | 290 | 368 | 460 | 580 | 736 | 920 | 1150 | 1472 | 1840 |
| 0,48 | 0,90 | 90 | 144 | 225 | 284 | 360 | 450 | 567 | 720 | 900 | 1125 | 1440 | 1800 |
| 0,54 | 0,88 | 88 | 141 | 220 | 277 | 352 | 440 | 554 | 704 | 880 | 1100 | 1408 | 1760 |
| 0,59 | 0,86 | 86 | 138 | 215 | 271 | 344 | 430 | 541 | 688 | 860 | 1075 | 1376 | 1720 |
| 0,65 | 0,84 | 84 | 134 | 210 | 265 | 336 | 420 | 529 | 672 | 840 | 1050 | 1344 | 1680 |
| 0,70 | 0,82 | 82 | 131 | 205 | 258 | 328 | 410 | 517 | 656 | 820 | 1025 | 1312 | 1640 |
| 0,75 | 0,80 | 80 | 128 | 200 | 252 | 320 | 400 | 504 | 640 | 800 | 1000 | 1280 | 1600 |
| 0,80 | 0,78 | 78 | 125 | 195 | 246 | 312 | 390 | 491 | 624 | 780 | 975 | 1248 | 1560 |
| 0,86 | 0,76 | 76 | 122 | 190 | 239 | 304 | 380 | 479 | 608 | 760 | 950 | 1216 | 1520 |
| 0,91 | 0,74 | 74 | 118 | 185 | 233 | 296 | 370 | 466 | 592 | 740 | 925 | 1184 | 1480 |
| 0,96 | 0,72 | 72 | 115 | 180 | 227 | 288 | 360 | 454 | 576 | 720 | 900 | 1152 | 1440 |
| 1,02 | 0,70 | 70 | 112 | 175 | 220 | 280 | 350 | 441 | 560 | 700 | 875 | 1120 | 1400 |

***Tab. L17:*** *Puterea activă disponibilă la încărcarea maximă a unui transformator, când sarcina este alimentată la diferite valori ale factorului de putere.*

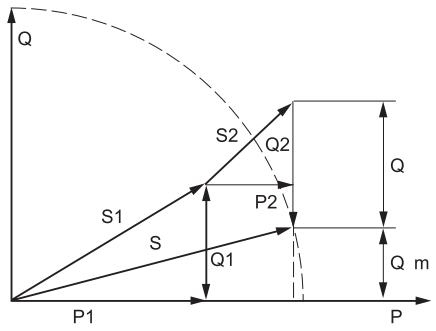



***Fig. L18:*** *Compensarea Q permite adăugarea sarcinii aditionale S2, fără a fi nevoie de înlocuirea transformatorului existent a cărui putere este limitată la valoarea S.*

**Exemplu: (**vezi **Fig. L18)**
O instalație este alimentată de la un transformator de 630 kVA cu sarcina de 450 kW ($P_1$) cu factor de putere mediu 0,8. Puterea aparentă $S1 = \frac{450}{0,8} = 562$ kVA

Puterea reactivă corespunzătoare

$Q1 = \sqrt{S1^2 - P1^2} = 337$ kVAR

Se anticipează creșterea puterii active cu valoarea $P_2$ = 100 kW la un factor de putere de 0,7.

Puterea aparentă $S2 = \frac{100}{0,7} = 143$ kVA

Puterea reactivă corespunzătoare

$Q2 = \sqrt{S2^2 - P2^2} = 102$ kVAR

Care este valoarea minimă a capacității de instalat pentru a evita schimbarea transformatorului?

Puterea activă totală este: $P = P_1 + P_2 = 550$ kW.

Puterea reactivă maximă pe care o poate furniza transformatorul, la 630 kVA și debitând 550 kW este:

$Qm = \sqrt{S^2 - P^2}$ $\quad Qm = \sqrt{630^2 - 550^2} = 307$ kVAR

Puterea reactivă totală, absorbită de instalație înainte de compensare este:

Ql + Q2 = 337 + 102 = 439 kVAR.

Deci, valoarea minimă a bateriei de condensatoare de instalat este:

Q (kVAR) = 439 - 307 = 132 kVAR.

Acest calcul nu a luat în considerare vârfurile de sarcină și duratele lor.
Cea mai bună corecție posibilă, aceea prin care cos φ atinge valoarea 1, ar permite o rezervă de putere activă de 630 - 550 = 80 kW. Bateria de condensatoare ar trebui să fie în acest caz de 439 kVAR.

# 6 Compensarea la bornele transformatorului

*Atunci când contorizarea se face pe partea de MT a transformatorului uneori este necesar să se asigure (funcție de modul de tarifare) compensarea pierderilor de energie reactivă din transformator.*

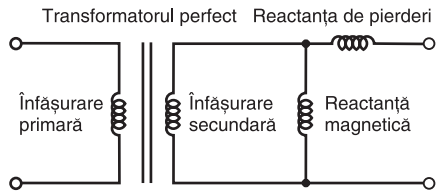



***Fig. L19:*** *Reactanțele transformatorului pe fază.*

*Puterea reactivă absorbită de un transformator nu poate fi neglijată și poate reprezenta până la aproximativ 5% din puterea transformatorului când acesta este încărcat aproape de nominal. Compensarea se poate face cu o baterie de condensatoare. În transformator puterea reactivă este absorbită de cele două reactanțe paralel (magnetizare) și serie (fluxul de pierderi). Compensarea completă se poate face cu o baterie de condensatoare conectată în paralel la JT.*

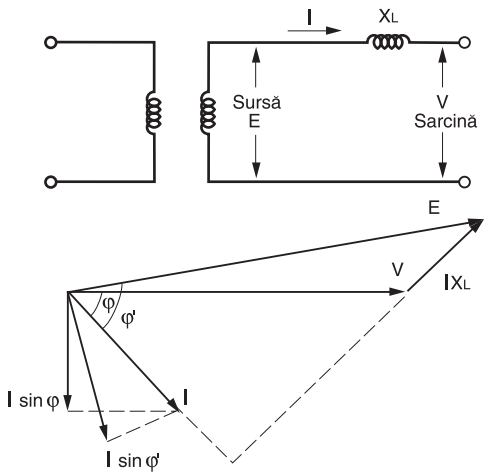



***Fig. L20:*** *Puterea reactivă absorbită de inductanța serie.*

## 6.2 Compensarea energiei reactive absorbite de transformator

### Natura reactanțelor inductive ale transformatorului

Considerațiile anterioare au fost făcute relativ la dispozitivele conectate în paralel ca sarcini normale și la bateriile de condensatoare pentru corecția cos φ, etc. Motivul este că, pentru cazul conectării în paralel a consumatorilor, se cere cea mai mare cantitate de putere reactivă din rețea. Totuși reactanțele conectate în serie, precum reactanțele inductive ale liniilor de putere și reactanțele de dispersie ale înfășurărilor transformatoarelor, etc., absorb de asemenea putere reactivă.
Atunci când contorizarea se face pe partea de MT a transformatorului, uneori este necesar să se asigure (în funcție de sistemul de tarifare) compensarea pierderilor de energie reactivă din transformator. Dacă sunt luate în considerație numai pierderile de energie reactivă, un transformator se reprezintă schematic ca în **Figura L19**.
Toate valorile de reactanțe se referă la secundarul transformatorului, unde reactanța paralelă este corespunzătoare curentului de magnetizare. Curentul de magnetizare rămâne practic constant (la 1,8% din curentul total), independent de sarcină, în condiții normale, adică cu tensiune constantă în primar, astfel că un condensator paralel de valoare fixă poate fi instalat în partea de MT sau JT, pentru a putea compensa puterea reactivă absorbită.

### Puterea reactivă absorbită de reactanțele conectate în serie (flux de dispersie)

Diagrama de fazori din **Figura L20** ilustrează acest fenomen.
Componenta reactivă prin sarcină = I sin φ astfel că $Q_L$ = V I sin φ.
Componenta reactivă a curentului debitat de sursă = I sin φ' astfel că $Q_E$ = E I sin φ', unde V și E sunt date în kV.
Se poate vedea că E > V și sin φ' > sin φ.
Diferența dintre EI sin φ' și VI sin φ este puterea reactivă absorbită de $X_L$, pe fază.
Se poate arăta că aceasta din urmă este egală cu $I^2X_L$ (care este analoagă pierderii de putere activă $I^2R$ (kW) datorate rezistenței serie a liniei, etc.).
Din expresia $I^2X_L$ se deduce puterea reactivă absorbită la orice valoare a sarcinii pentru un transformator dat, după cum urmează:
Dacă se folosesc valorile raportate - unități relative (în loc de procente) înmulțirea directă dintre I și $X_L$ conduce la rezultat.

**Exemplu:**
Fie un transformator de 630 kVA, cu tensiune de scurtcircuit de 4%, care funcționează la sarcină nominală.
Care sunt pierderile de putere reactivă? (kVAR)
4% = 0,04 pu $I_{pu}$ = 1
pierderile = $I^2X_L$ = 12 x 0,04 = 0,04 pu kVAR,
unde 1 pu = 630 kVA
În sistemul trifazat, puterea reactivă la pierderi este 630 x 0,04 = 25,2 kVAR
La jumătatea sarcinii, adică = 0,5 pu pierderile vor fi:
$0,5^2$ x 0,04 =0,01 pu = 630 x 0,01 = 6,3 kVAR și așa mai departe.
Acest exemplu și diagrama de fazori din **Fig. L20** arată că:
- factorul de putere în primarul unui transformator în sarcină este diferit (în general mai mic) decât în secundar (se absoarbe putere reactivă);
- pierderile de putere reactivă datorate reactanței de scăpări sunt de ordinul 4% din puterea aparentă a transformatorului;
- pierderile de putere reactivă, datorate reactanței de scăpări sunt proporționale cu pătratul curentului de sarcină.

# 6 Compensarea la bornele transformatorului

Pentru calculul pierderilor totale de putere reactivă ale transformatorului trebuie adăugate pierderile datorită curentului de magnetizare (aproximativ 1,8% din puterea aparentă a transformatorului) la cele anterior calculate. **Tabelul L21** prezintă pierderile de putere reactivă în cazul unui transformator tipic de distribuție în gol și în sarcină. În principiu inductanțele serie pot fi compensate cu condensatoare serie de valoare fixă (cazul liniilor lungi de IT). Acest aranjament este totuși greu de făcut, așa că la nivelurile de tensiune tratate de această lucrare, se aplică compensarea paralel.
În cazul contorizării la MT este suficient să se crească factorul de putere la o valoare la care transformatorul plus puterea reactivă consumată în sarcină să fie sub nivelul de la care se facturează suplimentar. Acest nivel depinde de tarifare, dar adesea corespunde la o valoare a tg $\varphi$ de 0,31 (cos $\varphi$ = 0,955).

| Puterea nominală (kVA) | Puterea reactivă (kVAR) de compensat | |
|---|---|---|
| | În gol | La sarcină nominală |
| 100 | 2,5 | 6,1 |
| 160 | 3,7 | 9,6 |
| 250 | 5,3 | 14,7 |
| 315 | 6,3 | 18,4 |
| 400 | 7,6 | 22,9 |
| 500 | 9,5 | 28,7 |
| 630 | 11,3 | 35,7 |
| 800 | 20 | 54,5 |
| 1000 | 23,9 | 72,4 |
| 1250 | 27,4 | 94,5 |
| 1600 | 31,9 | 126 |
| 2000 | 37,8 | 176 |

***Tab. L21:*** *Consumul de putere reactivă al transformatoarelor de distribuție cu înfășurarea primară de 20 kV.*

Ca un punct de vedere interesant pierderile de putere reactivă într-un transformator pot fi compensate complet reglând bateria de condensatoare la o valoare astfel ca defazajul să fie ușor capacitiv. În astfel de cazuri, toată puterea reactivă a transformatorului este alimentată din bateria de condensatoare, în timp ce factorul de putere la MT este 1, ca în **Fig. L22**.

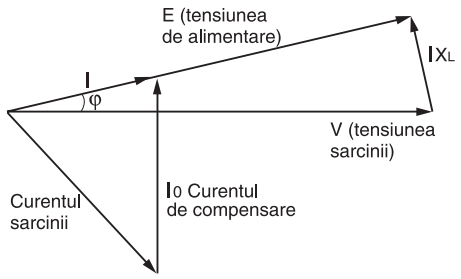



***Fig. L22:*** *Supracompensarea pentru compensarea completă a pierderilor de energie reactivă în transformator.*

Practic, compensarea pentru pierderea de putere reactivă în transformator este inclusă în condensatoarele de corectare a factorului de putere corespunzător sarcinii, la modul global, sectorial sau individual. Spre deosebire de alți consumatori care absorb putere reactivă, puterea reactivă absorbită de transformatoare (partea datorată reactanței de dispersie) se modifică esențial funcție de nivelul sarcinii, astfel că dacă se face o compensare individuală la transformator, atunci va trebui considerat un nivel mediu de sarcină.
Din fericire, acest consum de putere reactivă reprezintă o mică parte din puterea reactivă a instalației, astfel că dezacordul compensării cu sarcina ce poate apărea din când în când nu reprezintă o problemă.
**Tabelul L21** indică valori tipice ale pierderilor de putere reactivă pentru circuitul de magnetizare (coloana “în gol”) și de asemenea pentru pierderile totale, la sarcină nominală în cazul transformatoarelor de distribuție de 20 kV (care includ și pierderile în reactanța de dispersie).

# 7 Îmbunătățirea factorului de putere la motoarele cu inducție

*Compensarea individuală a motoarelor este recomandată acolo unde puterea motorului (kVA) este mare în comparație cu puterea totală a instalației.*

## 7.1 Conectarea bateriei de condensatoare și reglajul protecției

**Precauții generale**

Din cauza consumului mic de putere activă, factorul de putere al unui motor în gol sau cu sarcină mică este redus. Curentul reactiv al motorului rămâne practic constant, indiferent de sarcină, astfel că numărul motoarelor în gol constituie un consum de putere reactivă care este în defavoarea instalației din motivele expuse în secțiunea precedentă.

Se impun două reguli generale în acest sens: motoarele în gol trebuie deconectate și, de asemenea, acestea nu trebuie supradimensionate (pentru a nu funcționa la sarcină minimală).

**Conectare**

Bateria de condensatoare se conectează direct la bornele motorului.

**Motoarele speciale**

Motoarele speciale (pas cu pas, ... reversibile) nu se compensează.

**Efectul asupra reglajelor echipamentelor de protecție**

După aplicarea compensării unui motor, curentul către combinația motor-condensator este mai mic decât înainte de compensare, presupunând același nivel de încărcare mecanică. Aceasta survine datorită faptului că o bună parte din componenta reactivă a curentului este asigurată de condensator, după cum se vede în **Figura L23**.

Când echipamentul de protecție la supracurent este plasat în amonte față de conexiunea motor-condensator (acesta este cazul pentru condensatoare conectate la borne), reglajul releului de supracurent trebuie modificat in raportul:

$$\frac{\cos\varphi \text{ înainte de compensare}}{\cos\varphi \text{ după compensare}}$$

Pentru motoare compensate în acord cu valorile indicate în **Tab. L24** (valori maxime recomandate pentru evitarea autoexcitării motoarelor electrice standard, conform discuției din subcapitolul 7.2) raportul de mai sus variază în funcție de turație conform **Tab. L25**.

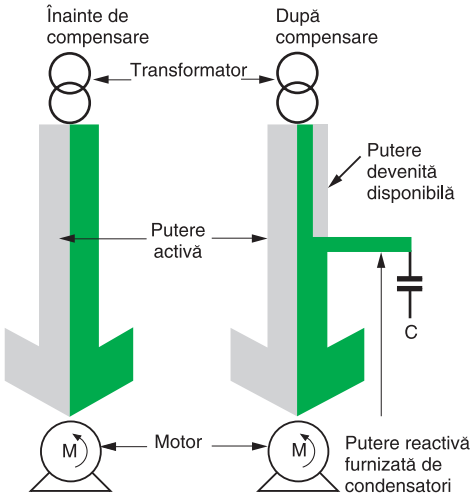



*Fig. L23: Înainte de compensare transformatorul furnizează toată puterea reactivă; după compensare condensatorii furnizează o mare parte din puterea reactivă.*

| Motoare trifazate 230/400 V | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Puterea nominală | | kVAR de instalat Viteza de rotație (rpm) | | | |
| kW | CP | 3000 | 1500 | 1000 | 750 |
| 22 | 30 | 6 | 8 | 9 | 10 |
| 30 | 40 | 7,5 | 10 | 11 | 12,5 |
| 37 | 50 | 9 | 11 | 12,5 | 16 |
| 45 | 60 | 11 | 13 | 14 | 17 |
| 55 | 75 | 13 | 17 | 18 | 21 |
| 75 | 100 | 17 | 22 | 25 | 28 |
| 90 | 125 | 20 | 25 | 27 | 30 |
| 110 | 150 | 24 | 29 | 33 | 37 |
| 132 | 180 | 31 | 36 | 38 | 43 |
| 160 | 218 | 35 | 41 | 44 | 52 |
| 200 | 274 | 43 | 47 | 53 | 61 |
| 250 | 340 | 52 | 57 | 63 | 71 |
| 280 | 380 | 57 | 63 | 70 | 79 |
| 355 | 482 | 67 | 76 | 86 | 98 |
| 400 | 544 | 78 | 82 | 97 | 106 |
| 450 | 610 | 87 | 93 | 107 | 117 |

*Tab. L24: Numărul maxim de kVAR pentru compensarea energiei reactive ce se pot aplica la bornele motoarelor fără riscul autoexcitației.*

| Viteza în rpm | Factor de reducere |
|---|---|
| 750 | 0,88 |
| 1000 | 0,90 |
| 1500 | 0,91 |
| 3000 | 0,93 |

*Tab. L25: Factorul de reducere a reglajului releului de supracurent după compensare.*

*Când se conectează o baterie de condensatoare la bornele unui motor electric este important să se verifice dacă valoarea capacității bateriei este sub valoarea la care survine autoexcitația.*

## 7.2 Cum poate fi evitată autoexcitația unui motor cu inducție

Când un motor are o sarcină de mare inerție mecanică, acesta continuă să se rotească (în afara cazurilor de frânare deliberată) chiar după întreruperea alimentării. Datorită "inerției magnetice" a rotorului, o forță electromotoare va fi generată în înfășurarea statorică, pentru o perioadă scurtă de timp după întreruperea circuitului, și se va reduce la zero după 1-2 perioade (în cazul unui motor necompensat).
Condensatoarele de compensare constituie o sarcină trifazată, capacitivă, pentru forța electromotoare, care va produce curenți capacitivi în înfășurările statorului.
Acești curenți din stator crează un câmp magnetic rotitor în rotor care acționează după aceeași axă și în același sens cu câmpul magnetic, în diminuare, al motorului.
Fluxul rotoric crește, curenții în stator se măresc, tensiunea la bornele motorului crește de asemenea, uneori la valori periculos de mari.
Acest fenomen este cunoscut sub numele de autoexcitație și este motivul pentru care generatoarele nu funcționează în mod normal cu factor de putere capacitiv (tensiunea în urma curentului), deoarece există tendința autoexcitării spontane (necontrolate).

**Note:**
**1.** Caracteristicile unui motor acționat de inerția sarcinii mecanice nu sunt riguros identice cu caracteristicile în gol. Cu toate acestea echivalența este suficient de precisă pentru cazuri practice.
**2.** Într-un motor acționând ca generator, curenții sunt puternic reactivi astfel că efectul de frânare (întârziere) asupra motorului este datorat numai sarcinii mecanice reprezentate de ventilatorul de răcire.
**3.** Curentul (90° în urmă) absorbit de la sursa de alimentare, în condiții normale, de un motor în gol și curentul (90° înainte) injectat în condensatoare, prin funcționarea ca generator a motorului, au aceeași relație de fază la bornele de alimentare. Din aceste motive cele două caracteristici se pot suprapune pe un grafic.
Pentru a evita autoexcitarea, descrisă mai sus, puterea reactivă în bateria de condensatoare trebuie limitată la o valoare maximă:
$Q_c \leqslant 0{,}9 \times I_o \times U_n \times \sqrt{3}$ unde $I_o$ este curentul absorbit de motorul în gol și $U_n$ este tensiunea nominală între faze, în kV. **Tabelul L24** (pagina anterioară) indică valorile lui $Q_c$ conform acestui criteriu.

**Exemplu**
Un motor de 75 kW, 3000 rpm, 400 V, trifazat poate avea o baterie de condensatoare de maxim 17 kVAR, conform **Tab. L24**. Valoarea din tabel este în general mai mică decât valoarea necesară pentru o compensare adecvată a motorului și atingerea valorii lui cos $\varphi$ necesară în mod normal. Se poate face o compensare adițională, de exemplu instalarea unei baterii de condensatoare de compensare globală, pentru mai mulți consumatori de putere mică.

**Motoare și acționări cu inerție mare**
În orice instalație în care există acționări electrice comandate de motoare de mare inerție, întreruptoarele sau contactoarele aferente acestor motoare, în eventualitatea căderii alimentării, trebuie să declanșeze rapid. Dacă nu sunt luate astfel de precauții se poate produce autoexcitație până la tensiuni foarte mari, deoarece orice baterie de condensatoare din instalație va fi în paralel cu cea corespunzătoare motorului de mare inerție.
Schema de protecție pentru aceste motoare trebuie să cuprindă un releu de declanșare la supratensiune, sensibil de asemenea la apariția unui flux invers de putere (motorul va alimenta cu energie restul instalației până va fi disipată toată energia mecanică stocată inerțial).
Dacă bateria de condensatoare asociată cu un un motor de mare inerție este mai mare decât cea recomandată în **Tab. L24** atunci ea trebuie comandată separat printr-un întreruptor sau contactor care să declanșeze simultan cu întreruptorul sau contactorul principal de comandă al motorului, așa cum arată **Fig. L26**.
Închiderea contactelor principale, trebuie să se facă numai cu contactele bateriei de condensatoare închise în prealabil.

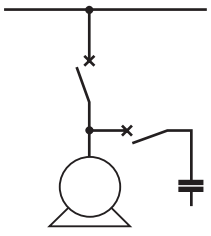


***Fig. L26:*** *Conectarea unei baterii de condensatoare la motor.*

# 8 Exemplul unei instalații înainte și după compensarea energiei reactive

**Instalația înaintea compensării**

$\overrightarrow{kVA} = \overrightarrow{kW} + \overrightarrow{kVAR}$ (1)

kVA, kW, kvar

- Puterea reactivă peste nivelul declarat se plătește scump
- Puterea aparentă este semnificativ mai mare decât puterea activă absorbită
- Curentul corespunzător, în exces, produce pierderi de putere activă care se facturează
- Instalația trebuie supradimensionată

630 kVA

400 V

Caracteristicile instalației
500 kW cos φ = 0,75

- Transformatorul funcționează în suprasarcină
- Puterea aparentă absorbită este:

$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{500}{0,75} = 665$ kVA

S = puterea aparentă

- Curentul prin circuit, în aval de întreruptor este:

$I = \frac{P}{\sqrt{3}.U.\cos \varphi} = 960$ A

- Pierderile în cabluri sunt proporționale cu pătratul curentului: $(960)^2$

$P = I^2R$

cos φ = 0,75

- Energia reactivă este furnizată de transformator prin conductoarele din instalație
- Transformatorul, întreruptorul și cablurile trebuiesc supradimensionate

cos φ = 0,75
atelier

**Instalația după compensare**

$\overrightarrow{kVA} = \overrightarrow{kW} + \overrightarrow{kVAR}$ (1)

kVA, kW

- Consumul de energie reactivă este:
  - ☐ eliminat, sau
  - ☐ redus în acord cu cos φ cerut,
- Penalitățile de tarifare:
  - ☐ pentru energie reactivă după caz,
  - ☐ pentru întreaga notă de plată în unele cazuri sunt eliminate;
- Sarcina stabilită bazată pe cererea de putere aparentă este pusă în acord cu valoarea puterii active absorbite.

630 kVA

400 V

Caracteristicile instalației
500 kW cos φ = 0,928

- Transformatorul nu mai este supraîncărcat
- Putere aparentă necesară 539 kVA
- 14% din puterea transformatorului devine disponibilă

- Curentul prin întreruptor este 778 A

- Pierderile în cabluri sunt reduse procentual la $\frac{778^2}{960^2} = 65\%$ din valoarea anterioară, obținându-se astfel o economie de energie activă (kWh)

cos φ = 0,928

- Energia reactivă este furnizată de bateria de condensatoare

250 kVAR

- Valoarea bateriei de condensatoare este 250 kVAR, în cinci trepte de 50 kVAR, controlate automat

cos φ = 0,75
atelier

**Notă:** În realitate cos φ în atelier rămâne 0,75, dar cos φ pentru toată instalația în amonte de bateria de condensatoare la bornele de MT ale transformatorului este 0,928. Cum s-a arătat în subcapitolul 6.2, cos φ în înfășurarea de MT va fi ușor mai scazut(2) datorită pierderilor reactive din transformator.

*Fig. K27: Comparație tehnico-economica a unei instalații înainte și după compensarea energiei reactive.*

*(1) Săgețile indică mărimi vectoriale.*
*(2) Mai mult decât înainte de corecție.*

# 9 Efectele armonicilor

## 9.1 Probleme apărute datorită armonicilor sistemului de alimentare

Echipamentele care utilizează componente electronice de putere (variatoare de viteză pentru motoare electrice, redresoare de putere comandate - cu tiristoare -, etc.) au făcut să apară probleme datorate armonicilor din sistemul respectiv.
Armonicile au apărut din primele etape ale activităţii industriale şi au fost cauzate de impedanţele neliniare de magnetizare ale transformatoarelor, balasturi de lămpi fluorescente, etc.
Armonicile dintr-un sistem trifazat simetric sunt în general de ordin impar: a 3-a, a 5-a, a 7-a ..., şi cu amplitudini descrescătoare funcţie de ordinul armonicii. Toate aceste elemente pot fi folosite în diferite moduri pentru a reduce armonicile specifice la valori neglijabile, eliminarea completă a acestora nefiind posibilă. În această secţiune a lucrării sunt recomandate mijloace practice de reducere a influenţei armonicilor, cu referire în special la bateriile de condensatoare.
Condensatoarele sunt sensibile la componentele armonice ale tensiunii de alimentare, deoarece reactanţa capacitivă scade în funcţie de creşterea frecvenţei. În practică, aceasta înseamnă că un procent relativ mic de tensiune corespunzătoare unei armonici, poate cauza un curent semnificativ prin capacitate.
Prezenţa componentelor armonice duce la distorsionarea formelor de undă ale curentului şi tensiunii; distorsiunea este cu atât mai mare, cu cât conţinutul de armonici creşte.
Dacă frecvenţa proprie a bateriei de condensatoare/combinaţia de reactanţe din sistemul de alimentare este apropiată de o anume armonică, atunci se produce un fenomen de rezonanţă parţială, cu valori crescute pentru curentul şi tensiunea corespunzătoare frecvenţei acelei armonici. În acest caz particular curentul amplificat produce supraîncalzirea condensatoarelor şi eventuala degradare a dielectricului care poate conduce şi la o eventuala distrugere a condensatorului.
Există mai multe soluţii pentru această problemă, printre care:
- conectarea în paralel a unui filtru de armonici şi/sau reactanţe de suprimare a armonicilor, sau
- filtre active, sau
- filtre hibride.

*Armonicile constituie un motiv de supradimensionare a condensatoarelor şi de introducere a reactanţelor serie, pentru suprimarea armonicilor în reţea.*

## 9.2 Soluţii posibile

### Filtre pasive (vezi Fig. L28)

**Contracararea efectelor armonicilor**

Prezenţa armonicilor în tensiunea de alimentare duce la apariţia unei valori de curent anormal de mare prin condensatoare. În această situaţie, se consideră curentul de calcul prin acestea de 1,3 ori valoarea efectivă a curentului nominal. Toate elementele serie, cum ar fi conexiuni, siguranţe, aparate de comutaţie, etc. asociate cu condensatoarele vor fi de asemenea supradimensionate (între 1,3 şi 1,5 din valoarea nominală).
Distorsiunea armonică a undei de tensiune se manifestă în mod frecvent sub forma unei unde “ascuţite”, a cărei valoare de vârf este mai mare decât valoarea de vârf a sinusoidei normale. Acest fenomen, împreună cu alte cauze, cum ar fi supratensiuni cauzate de rezonanţă, necesită o creştere a nivelului de izolaţie a condensatoarelor utilizate în astfel de circuite, faţă de cele de tip “standard”. Pentru funcţionarea satisfăcătoare a bateriilor de condensatoare, luarea în considerare a celor două măsuri este foarte importantă şi conduce la funcţionări satisfăcătoare.

**Contracararea efectelor fenomenului de rezonanţă**

Condensatoarele sunt elemente reactive liniare şi în consecinţă nu generează armonici.
Instalarea unor condensatoare într-un sistem de alimentare (în care impedanţele sunt predominant inductive) poate duce la rezonanţe parţiale sau totale la anumite frecvenţe armonice.
Ordinul armonicei $h_o$ a frecvenţei proprii de rezonanţă între inductanţa sistemului şi capacitatea bateriei de condensatoare este:

$$h_o = \sqrt{\frac{S_{sc}}{Q}}$$

unde:

$S_{sc}$ = puterea de scurtcircuit în reţeaua trifazată, la bornele bateriei de condensatoare, exprimată în kVA

Q = puterea bateriei, în kVAR

$h_o$ = ordinul armonicei corespunzătoare frecvenţei proprii $f_o$ adică $\frac{f_o}{50}$ pentru reţeaua de 50 Hz, sau $\frac{f_o}{60}$ pentru reţeaua de 60 Hz.

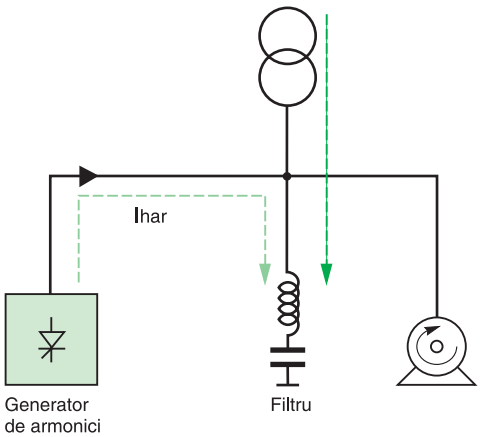



***Fig. L28:*** *Principiul de operare a unui filtru pasiv.*

# 9 Efectele armonicilor

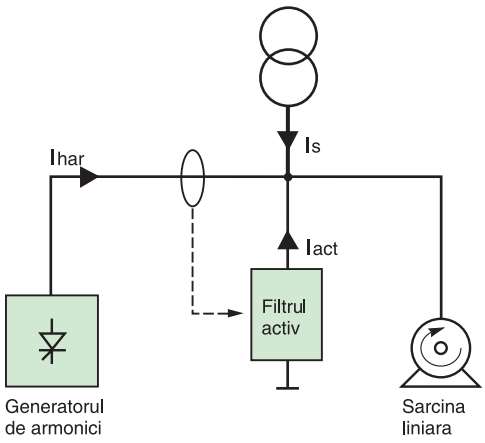



*Fig. L29: Principiul de operare a unui filtru activ.*

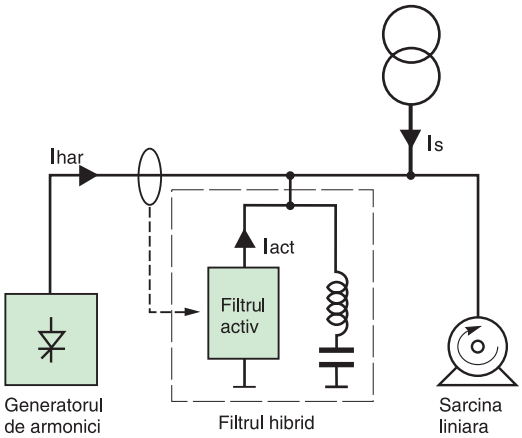



*Fig. L30: Principiul de operare a unui filtru hibrid.*

De exemplu: $h_o = \sqrt{\frac{S_{sc}}{Q}}$ poate da o valoare $h_o$ = 2,93 care arată că frecvența proprie a condensatorului/combinație inductanță-sistem este în apropierea armonicii a treia.

Din $h_o = \frac{f_o}{50}$ se observă că $f_o = 50\ h_o = 50 \times 2{,}93 = 146{,}5$ Hz.

Cu cât este mai apropiată frecvența proprie de o armonică, cu atât va fi mai mare efectul de distorsiune. În exemplul de mai sus, există condiții de rezonanță puternică cu armonica a treia a undei distorsionate.
În astfel de cazuri, se iau măsuri pentru a schimba frecvența proprie la o valoare care să nu producă rezonanță cu nici o armonică importantă. Aceasta se realizează prin adăugarea unei inductanțe de suprimare a armonicilor, conectată în serie cu bateria de condensatoare.
În rețeaua de 50 Hz, aceste reactanțe sunt reglate să producă fenomenul de rezonanță a ansamblului, baterie de condensatoare + reactanță la frecvența de 190 Hz. În rețeaua de 60 Hz, reactanța se reglează pentru 228 Hz. Aceste frecvențe corespund unei valori $h_o$ = 3,8 pentru 50 Hz, aceasta reprezentând mijlocul intervalului dintre armonica a 3-a și a 5-a.
În această structură, prezența reactanței crește curentul de frecvență fundamentală (50 Hz sau 60 Hz) cu o valoare redusă (7 - 8%). Tensiunea la bornele capacității se mărește în aceași proporție.
Aceast fapt se ia în considerare, de exemplu, folosind condensatoare proiectate pentru 440 V în rețeaua de 400 V.

## Filtre active (vezi Fig. L29).

Filtrele active se bazează pe tehnologia electronicii de putere. Ele sunt în general instalate în paralel cu o sarcină neliniară.
Filtrele active analizează armonicile absorbite de o sarcină și injectează același curent armonic către sarcină, pe faza corespunzătoare. Ca urmare curenții armonici sunt complet neutralizați în punctul considerat. Nu mai avem deci de-a face cu circulație de curenți sau cu armonici catre sursă.
Principalul avantaj al filtrelor active este că ele garantează compensarea armonică eficientă chiar în cazul eventualelor schimbări operate în instalație. De asemenea ele sunt extraordinar de ușor de folosit datorită:
- autoconfigurării la sarcinile armonice, indiferent de ordinul acestora;
- eliminării riscului suprasarcinii;
- compatibilității cu generatoarele;
- posibilității de conectare la orice punct din rețeaua electrică;
- mai multe filtre active pot fi utilizate în aceeași instalație, pentru a crește eficiența depoluării (de exemplu când se instalează un nou echipament se adaugă un nou filtru activ).

Filtrele active compensează de asemenea și energia reactivă.

## Filtre hibride (vezi Fig. L30).

Acest tip de filtre combină avantajele filtrelor pasive și active. O frecvență poate fi filtrată de un filtru pasiv și celelalte frecvențe de filtrul activ.

## 9.3 Alegerea soluţiei optime

**Tabelul L31** arată criteriile ce trebuiesc luate în consideraţie pentru selectarea celei mai potrivite tehnologii în funcţie de aplicaţie.

| | Filtru pasiv | Filtru activ | Filtru hibrid |
|---|---|---|---|
| Aplicaţii | Industrial | Terţiar | Industrial |
| … cu puterea totală neliniară (variaţie de viteză, redresoare, UPS, etc.) | mai mare decât 200 kVA | mai mic decât 200 kVA | mai mare decât 200 kVA |
| Compensarea en. reactive | | Nu | |
| Necesitatea reducerii distorsiunii armonice pentru sarcini sensibile | | | |
| Necesitatea reducerii distorsiunii armonice pentru evitarea suprasarcinii pe cabluri | | | |
| Necesitatea concordanţei cu limite stabilite ale armonicilor | Nu | | |

*Tab. L31: Selecţia celei mai potrivite tehnologii în funcţie de aplicaţie.*

Pentru un filtru pasiv alegerea soluţiilor se face conform următorilor parametri:
- $G_h$ = suma puterilor aparente ale tuturor dispozitivelor care generează armonici (convertizoare statice, invertoare, variatoare de viteză, etc.) conectate la barele la care este conectată şi bateria de condensatoare. Dacă pentru unele dispozitive se dă puterea activă, la calculul puterii aparente se consideră factorul de putere 0,7.
- $S_{sc}$ = puterea de scurtcircuit trifazată, la bornele bateriei de condensatoare.
- $S_n$ = suma puterilor aparente ale tuturor transformatoarelor de alimentare ale sistemului din care fac parte barele de distribuţie.

Dacă un număr de transformatoare funcţionează în paralel, scoaterea din funcţiune a unuia sau a mai multora dintre ele va produce modificări sensibile asupra $S_{sc}$ şi $S_n$. Cu aceşti parametri se poate face o alegere a capacităţii care să asigure un nivel de funcţionare acceptabil din punct de vedere al armonicilor de curent şi tensiune, conform **Tab. L32**.

■ Regula generală valabilă pentru orice mărime a transformatoarelor

| $Gh \leqslant \frac{Ssc}{120}$ | $\frac{Ssc}{120} \leqslant Gh \leqslant \frac{Ssc}{70}$ | $Gh > \frac{Ssc}{70}$ |
|---|---|---|
| Condensatori standard | Condensatori cu tensiunea nominală crescută cu 10% (excepţie cei de 230 V) | Condensatori cu tensiunea nominală crescută cu 10% + bobine de suprimare a armonicilor |

■ Regula simplificată pentru transformatoare ⩽ 2 MVA

| $Gh \leqslant 0{,}15\ Sn$ | $0{,}15\ Sn < Gh \leqslant 0{,}25\ Sn$ | $0{,}25\ Sn < Gh \leqslant 0{,}60\ Sn$ | $Gh > 0{,}60\ Sn$ |
|---|---|---|---|
| Condensatori standard | Condensatori cu tensiunea nominală crescută cu 10% (excepţie cei de 230 V) | Condensatori cu tensiunea nominală crescută cu 10% + bobine de suprimare a armonicilor | Filtre |

*Tab. L32: Alegerea soluţiilor de limitare a armonicilor asociate unei baterii de condensatoare de JT alimentată prin transformator (transformatoare).*

# 10 Instalarea bateriilor de condensatoare

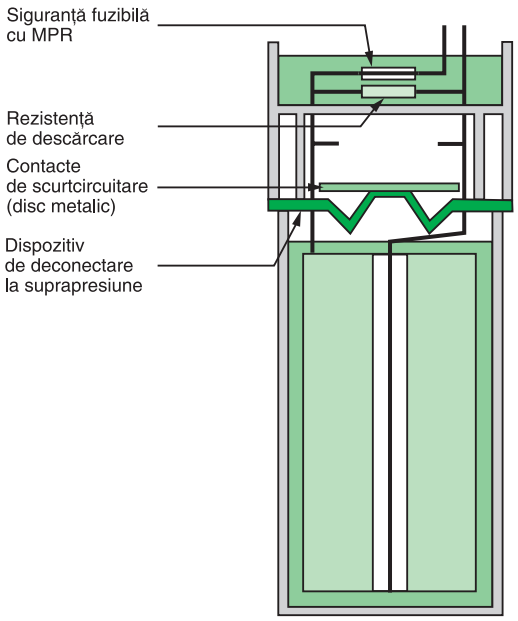
## 10.1 Condensatoarele

### Tehnologie

Condensatoarele sunt de tip uscat (adică fără lichid dielectric) și sunt formate din două role de folie de polypropylena metalizată, cu proprietăți autocicatrizante. Condensatoarele sunt protejate de un sistem (dispozitiv de suprapresiune cuplat cu siguranță MPR) care deconectează condensatorul în cazul unei defecțiuni interne. Schema de protecție funcționează în felul următor:

- un curent de scurtcircuit prin dielectric arde siguranța;
- uneori nivelul de curent este mai mare decât cel normal, dar insuficient ca să topească siguranța, de exemplu datorită unor scurgeri microscopice în stratul de dielectric. Astfel de defecte se rezolvă prin refacerea izolației datorită încălzirii locale produsă de curentul de scurgere, adică prin autocicatrizare;
- dacă curentul de scurgere persistă, defectul poate evolua spre un scurtcircuit, și siguranța va funcționa;
- gazul produs prin vaporizarea stratului metalic, în zona de defect, produce treptat o creștere a presiunii în containerul de plastic. Aceasta determină acționarea dispozitivului sensibil la presiune, care scurtcircuitează condensatorul prin contactele sale determinând funcționarea siguranței. Condensatoarele au carcase din material izolant, prevăzute cu dublă izolare, eliminând astfel necesitatea conectării la pământ (vezi **Fig. L33**).

**a)**


Siguranță fuzibilă cu MPR
Rezistență de descărcare
Contacte de scurtcircuitare (disc metalic)
Dispozitiv de deconectare la suprapresiune

**b)**

| Caracteristici electrice | | | |
|---|---|---|---|
| Standarde | | Standarde CEI 60439-1, NFC 54-104, VDE 0560 CSA, teste UL | |
| Gama de operare | Tensiune nominală | 400 V | |
| | Frecvență nominală | 50 Hz | |
| Toleranța capacitanței | | - 5% la + 10% | |
| Game de temperatură (până la 65 kVAR) | Temperatură maximă | 55° C | |
| | Temperatură medie pentru 24 h | 45° C | |
| | Temperatură medie anuală | 35° C | |
| | Temperatură minimă | - 25° C | |
| Tensiune de izolație | | Tensiune de ținere 50 Hz, 1 min: 6 kV<br>Tensiune de ținere la impuls 1,2/50 µs: 25 kV | |
| Suprasarcina de curent admisibilă | | Gama "Clasic"(1) | Gama "Confort"(1) |
| | | 30% | 50% |
| Suprasarcina de tensiune admisibilă | | 10% | 20% |

*Fig. L33: Condensator, **(a)** secțiune, **(b)** caracteristici electrice.*

*(1) Pentru produse marca Merlin Gerin.*

## 10.2 Alegerea protecţiilor, aparaturii de comandă şi cablurilor de conectare

Alegerea cablurilor din amonte, a protecției și a dispozitivelor de comandă depinde de curentul de sarcină.
Pentru condensatoare, curentul este funcție de:
- tensiunea aplicată și armonicile ei;
- valoarea capacității.

Curentul nominal $I_n$ într-un condensator de putere reactivă Q, alimentat la un sistem trifazat având tensiunea $U_n$ (kV) (între faze), este dat de:

$$In = \frac{Q}{Un\sqrt{3}}$$

Domeniul de variație admisibil al tensiunii de frecvență fundamentală, plus componentele armonice, împreună cu toleranțele de fabricație ale condensatorului (pentru o valoare nominală declarată) pot să conducă la o creștere a curentului cu 50% peste valoarea calculată. Aproximativ 30% din această creștere este datorată variației de tensiune, în timp ce aprox. 15% este datorată toleranțelor de fabricație astfel ca: 1,3 x 1,15 = 1,5 $I_n$.
Toate componentele care suportă curentul capacitiv trebuie adaptate “celei mai defavorabile condiții”, la o temperatură ambientală de maximum 50° C. În cazul unor temperaturi mai mari de 50° C în interiorul unor incinte, este necesară o supradimensionare a componentelor aferente.

### Protecție

Mărimea întreruptorului automat poate fi aleasă pentru a permite reglajul suprasarcinii la:
- 1,36 x $I_n$ pentru condensatori din gama “Classic”*(1)*
- 1,50 x $I_n$ pentru condensatori din gama “Confort”*(1)*
- 1,12 x $I_n$ pentru condensatori din gama „Harmony”, asociați cu bobina cu rang de acord de 2,7 f*(2)*
- 1,19 x $I_n$ pentru condensatori din gama “Harmony”, asociați cu bobina cu rang de acord de 3,8 f*(2)*
- 1,31 x $I_n$ pentru condensatori din gama “Harmony”, asociați cu bobina cu rang de acord de 4,3 f*(2)*

Reglajul protecției la scurtcircuit trebuie să fie insensibil la curentul de punere sub tensiune. Reglajul va fi 10 x $I_n$ pentru condensatori din gamele “Classic”, “Confort” și „Harmony”.

**Exemplul 1**
50 kVAR - 400 V - 50 Hz - tip “Classic”

$$In = \frac{50.000}{(400 \text{ x } 1{,}732)} = 72 \text{ A}$$

Reglajul la suprasarcină: 1,36 x 72 = 98 A
Reglajul la scurtcircuit: 10 x $I_n$ = 720 A

**Exemplul 2**
50 kVAR - 400 V - 50 Hz - condensatori din gama “Harmony”, asociați cu bobina cu rang de acord de 4,3 f
$I_n$ = 72 A
Reglajul la suprasarcină: 1,31 x 72 = 94 A
Reglajul la scurtcircuit: 10 x $I_n$ = 720 A

**Cablurile de alimentare (din amonte)**
**Tabelul L34** de pe pagina următoare indică secțiunile minime ale cablurilor amonte pentru condensatoarele Rectiphase.

**Cablurile de comandă**
Secțiunea minimă a acestor cabluri va fi de 1,5 mm² pentru 230 V. Pentru secundarul transformatoarelor este recomandată o secțiune ⩾ 2,5 mm².



***(1)*** *Pentru produse marca Merlin Gerin.*
***(2)*** *Bateriile de condensatoare “Harmony” sunt echipate cu bobine de suprimare a armonicelor.*

# 10 Instalarea bateriilor de condensatoare

| Puterea bateriei (kVAR) 230 V | 400 V | Secțiune cupru (mm²) | Secțiune aluminiu (mm²) |
|---|---|---|---|
| 5 | 10 | 2,5 | 16 |
| 10 | 20 | 4 | 16 |
| 15 | 30 | 6 | 16 |
| 20 | 40 | 10 | 16 |
| 25 | 50 | 16 | 25 |
| 30 | 60 | 25 | 35 |
| 40 | 80 | 35 | 50 |
| 50 | 100 | 50 | 70 |
| 60 | 120 | 70 | 95 |
| 70 | 140 | 95 | 120 |
| 90 - 100 | 180 | 120 | 185 |
| | 200 | 150 | 240 |
| 120 | 240 | 185 | 2 x 95 |
| 150 | 250 | 240 | 2 x 120 |
| | 300 | 2 x 95 | 2 x 150 |
| 180 - 210 | 360 | 2 x 120 | 2 x 185 |
| 245 | 420 | 2 x 150 | 2 x 240 |
| 280 | 480 | 2 x 185 | 2 x 300 |
| 315 | 540 | 2 x 240 | 3 x 185 |
| 350 | 600 | 2 x 300 | 3 x 240 |
| 385 | 660 | 3 x 150 | 3 x 240 |
| 420 | 720 | 3 x 185 | 3 x 300 |

***Tab. L34:*** *Secțiunea cablurilor pentru conectarea bateriilor de condensatoare medii și mari(1).*

## Tensiuni tranzitorii

Curentul tranzitoriu, de înaltă frecvență, este însoțit de tensiuni tranzitorii. Valoarea de vârf maximă a tensiunii tranzitorii nu depășește niciodată dublul valorii de vârf a tensiunii nominale, în cazul conectării unui condensator descărcat în circuit.
În cazul condensatoarelor care sunt deja încărcate în momentul conectării tensiunea tranzitorie poate atinge o valoare triplă față de valoarea de vârf a tensiunii nominale.

Condițiile de maxim de tensiune sunt următoarele:
- tensiunea existentă pe condensator este egală cu valoarea de vârf a tensiunii nominale;
- contactele contactorului se închid în momentul în care tensiunea de alimentare are valoarea maximă;
- polaritatea tensiunii de alimentare este inversă față de tensiunea la bornele condensatorului.

În asemenea situații, curentul tranzitoriu va atinge valoarea maximă posibilă, adică dublul maximului curentului la conectarea unui condensator inițial descărcat.
Pentru orice alte valori ale tensiunii și polarității unui condensator încărcat, vârful tensiunii și curentului tranzitoriu vor fi mai mici decât cele menționate mai sus; în cazul particular în care valoarea tensiunii pe condensator este de aceeași polaritate cu tensiunea de alimentare, iar conectarea se produce în momentul vârfului tensiunii de alimentare, nu apar curenți sau tensiuni tranzitorii.
În cazul bateriilor automate trebuie avut grijă ca treptele să fie conectate numai în situația condensatoare “descărcate”.
Timpul de descărcare poate fi redus, dacă este necesar, folosind rezistențe de descărcare de valoare mică.



***(1)*** *Valorile secțiunilor minime au fost calculate pentru cabluri monofilare, pozate liber în aer la 30° C. Tabelul nu ține cont de nici un factor de reducere (datorat modului de pozare, temperaturii mediului ambiant, etc.).*

# Capitolul M
# Detecția și filtrarea armonicilor

## Cuprins


| | | |
|---|---|---|
| 1 | **Problemă: de ce este necesar să detectăm și să eliminăm armonicile?** | **M2** |
| 2 | **Standarde** | **M3** |
| 3 | **Considerații generale** | **M4** |
| 4 | **Principalele efecte ale armonicilor în instalații** | **M6** |
| | 4.1 Rezonanța | M6 |
| | 4.2 Creșterea pierderilor | M6 |
| | 4.3 Suprasolicitarea echipamentelor | M7 |
| | 4.4 Perturbații ce afectează consumatorii sensibili | M9 |
| | 4.5 Impactul economic | M10 |
| 5 | **Indicatorii esențiali ale distorsiunilor provocate de armonici și principii de măsurare** | **M11** |
| | 5.1 Factorul de putere | M11 |
| | 5.2 Factorul de amplitudine | M11 |
| | 5.3 Puterile și armonicile | M11 |
| | 5.4 Spectrul armonic și distorsiunea armonică | M12 |
| | 5.5 Distorsiunea armonică totală (THD - Total Harmonic Distorsion) | M12 |
| | 5.6 Utilitatea diferiților indicatori | M13 |
| 6 | **Măsurarea indicatorilor** | **M14** |
| | 6.1 Dispozitive utilizate pentru măsurarea indicatorilor | M14 |
| | 6.2 Proceduri pentru analiza armonicilor în rețelele de distribuție | M14 |
| | 6.3 Monitorizarea armonicilor | M15 |
| 7 | **Dispozitive de detecție** | **M16** |
| 8 | **Soluții pentru atenuarea armonicilor** | **M17** |
| | 8.1 Soluții de bază | M17 |
| | 8.2 Filtrarea armonicilor | M18 |
| | 8.3 Metoda | M20 |
| | 8.4 Produse specifice | M20 |

# 1 Problemă: de ce este necesar să detectăm și să eliminăm armonicile

**Perturbații cauzate de armonici**
Armonicile prezente în rețelele de distribuție degradează calitatea energiei electrice. Acest fenomen poate avea un număr de efecte negative:
- suprasarcini în rețelele de distribuție cauzate de creșterea valorii efective a curentului;
- suprasarcini în conductorul neutru datorate creșterii cumulative a armonicilor de ordin trei create de sarcinile monofazate;
- suprasarcini, vibrații, și îmbătrânirea prematură a generatoarelor, transformatoarelor și motoarelor ca și creșterea zgomotelor proprii transformatoarelor;
- suprasarcini și îmbătrânirea prematură a condensatoarelor folosite la compensarea energiei reactive;
- distorsiunile tensiunii de alimentare pot perturba consumatorii sensibili;
- perturbații în rețelele de comunicații și în liniile telefonice.

**Impactul economic al perturbațiilor**
Armonicile au un impact economic major:
- îmbătrânirea prematură a echipamentelor poate însemna înlocuirea înainte de vreme dacă nu s-a luat măsura supradimensionării de la bun început;
- suprasarcinile rețelei de distribuție solicită puteri aprobate mai mari și implică de asemenea creșterea pierderilor;
- distorsiunea formei de undă a curentului provoacă declanșări intempestive care duc la oprirea proceselor de producție.

**Creșterea gravității consecințelor**
Cu numai zece ani în urmă armonicile nu erau încă considerate o problemă reală din cauză că efectele lor asupra rețelelor de distribuție erau în general minore. Introducerea masivă a electronicii de putere în echipamente a făcut ca acest fenomen să fie mult mai serios în toate sectoarele de activități economice. Trebuie adăugat însă că echipamentele generatoare de armonici sunt adesea vitale pentru activitatea companiei sau a organizației.

**Ce armonici trebuiesc măsurate și eliminate?**
Armonicile cel mai frecvent întâlnite în rețelele de distribuție trifazată sunt cele impare. În mod normal amplitudinea armonicilor scade pe măsură ce frecvența crește. Peste ordinul 50, armonicile sunt neglijabile și măsurătorile nu mai au nici o semnificație. Măsurători suficient de precise se obțin măsurând armonicile până la ordinul 30.
Serviciile publice de electricitate monitorizează armonicile de ordin 3, 5, 7, 11 și 13. În majoritatea cazurilor tratarea armonicilor de ordin mic (până la 13) este suficientă pentru rezolvarea problemelor. Cele mai exigente condiții iau în considerare armonicile până la ordinul 25.

# 2 Standarde

Emisiile de armonici sunt subiectul mai multor standarde și reglementări:
- standarde de compatibilitate pentru rețelele de distribuție publică;
- standarde de emisie aplicabile echipamentelor care generează armonici;
- reglementări create de către serviciile publice de electricitate și aplicabile în instalații.

În vederea unei atenuări rapide a efectelor armonicilor un triplu sistem de standarde și reglementări bazat pe documentele enumerate mai jos este promovat cu insistență.

**Standarde de reglementare a compatibilității între rețelele de distribuție și produse**

Aceste standarde stabilesc compatibilitatea necesară între rețelele de distribuție și produse:
- armonicile generate de un aparat nu trebuie să deranjeze rețeaua de distribuție dincolo de anumite limite;
- fiecare aparat trebuie să fie capabil să funcționeze normal în prezența unor perturbații de până la un anumit nivel;
- standardul CEI 61100-2-2 pentru serviciile publice de distribuție a electricității la joasă tensiune;
- standardul CEI 61100-2-4 pentru instalații industriale de joasă și medie tensiune.

**Standarde de reglementare a calității rețelelor de distribuție**
- standardul EN 50160 stipulează caracteristicile tensiunii furnizate prin rețelele electrice de distribuție publică la joasă și medie tensiune;
- standardul IEEE 519 prezintă o abordare comună pentru serviciile publice de electricitate și consumatori a problematicii limitării impactului sarcinilor ne-liniare.

Mai mult, serviciilor publice de electricitate încurajează acțiunile preventive în vederea prevenirii deteriorării calității energiei, creșterilor de temperatură și efectelor provocate de consumul exagerat de energie reactivă. În viitor serviciile publice de electricitate vor începe cu siguranță să taxeze consumatorii cu surse majore de perturbații armonice.

**Standarde de reglementare a echipamentelor**
- standardul CEI 61000-3-2 sau EN 61000-3-2 pentru echipamente de joasă tensiune având curentul nominal mai mic de 16 A;
- standardul CEI 61000-3-12 pentru echipamente de joasă tensiune având curentul nominal mai mare de 16 A și mai mic de 75 A.

**Nivelul maxim permis al armonicilor**

Studiile internaționale bazate pe datele colectate în diferite rețele electrice de distribuție au permis estimarea armonicilor tipice ce pot fi întâlnite în majoritatea rețelelor electrice. **Tabelul M1** prezintă nivelele care, în opinia celor mai multe servicii publice de electricitate, nu ar trebui depășite.

| Armonici de ordin impar non-multiplu de 3 | | | | Armonici de ordin impar multiplu de 3 | | | | Armonici de ordin par | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ordin h** | **JT** | **MT** | **IT** | **Ordin h** | **JT** | **MT** | **IT** | **Ordin h** | **JT** | **MT** | **IT** |
| 5 | 6 | 6 | 2 | 3 | 5 | 2,5 | 1,5 | 2 | 2 | 1,5 | 1,5 |
| 7 | 5 | 5 | 2 | 9 | 1,5 | 1,5 | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | 3,5 | 3,5 | 1,5 | 15 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 6 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| 13 | 3 | 3 | 1,5 | 21 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 8 | 0,5 | 0,2 | 0,2 |
| 17 | 2 | 2 | 1 | > 21 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 10 | 0,5 | 0,2 | 0,2 |
| 19 | 1,5 | 1,5 | 1 | | | | | 12 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 23 | 1,5 | 1 | 0,7 | | | | | > 12 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 25 | 1,5 | 1 | 0,7 | | | | | | | | |
| > 25 | 0,2 + 25/h | 0,2 + 25/h | 0,1 + 25/h | | | | | | | | |

***Notă:*** *h reprezintă ordinul armonicii.*

***Tab. M1:*** *Nivelul maxim permis al armonicilor.*

# 3 Considerații generale

Prezența armonicilor indică o formă de undă distorsionată a curentului sau a tensiunii. Forma distorsionată a undei de curent sau tensiune înseamnă că distribuția energiei electrice este perturbată iar calitatea energiei electrice nu este cea optimă. Curenții armonici sunt produși de sarcinile neliniare conectate la rețeaua de distribuție. Circulația armonicilor de curent provoacă armonici de tensiune prin impedanțele rețelei de distribuție, distorsionând în consecință tensiunea de alimentare.

## Originea armonicilor

Aparatele și sistemele care produc armonici sunt prezente în toate sectoarele cum ar fi cel industrial, comercial și rezidențial. Armonicile sunt produse de sarcini neliniare (adică sarcini care absorb un curent cu o formă de undă diferită de forma de undă a tensiunii de alimentare).
Exemple de sarcini neliniare:

- echipamente industriale (aparate de sudură, cuptoare cu arc, cuptoare cu inducție, redresoare);
- variatoare de viteză pentru motoare asincrone sau de curent continuu;
- surse neîntreruptibile (UPS-uri);
- echipament de birou (computere, copiatoare, fax-uri, etc.);
- aparate casnice (televizoare, cuptoare cu microunde, iluminat fluorescent);
- aparatură necesitând saturație electromagnetică (transformatoare).

**Perturbații cauzate de sarcinile neliniare: armonici de curent și de tensiune**
Sarcinile neliniare produc armonici de curent care circulă prin rețeaua electrică de distribuție. Armonicele de tensiune sunt produse de circulația armonicilor de curent prin impedanțele circuitului de alimentare (transformator și rețeaua de distribuție pentru situații similare celei arătate în **Fig. M2**).

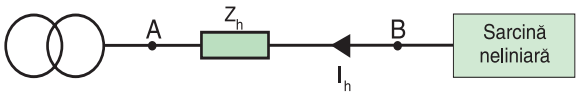



*Fig. M2: Schemă monofilară arătând impedanța circuitului de alimentare pentru o armonică de ordinul h.*

Reactanța unui conductor crește în funcție de frecvența curentului care circulă prin acel conductor. Pentru fiecare armonică de curent de ordin h există deci o impedanță $Z_h$ a circuitului de alimentare. Când armonica de curent de ordin h circulă prin impedanța $Z_h$, se crează o armonică de tensiune $U_h$, unde $U_h = Z_h \times I_h$ (legea lui Ohm). Tensiunea în punctul B este deci distorsionată. Toate aparatele alimentate prin punctul B primesc o tensiune distorsionată. Pentru o armonică de curent dată, distorsiunea este proporțională cu impedanța rețelei de distribuție.

**Circulația armonicilor de curent în rețelele de distribuție**
Se poate considera că sarcinile neliniare injectează armonici de curenți în rețeaua de distribuție, către sursă.
**Figurile M3** și **M4** de pe pagina următoare arată o instalație perturbată de armonici. **Figura M3** arată circulația curentului la 50 Hz în instalație, în timp ce **Figura M4** arată circulația curentului armonic de ordin h.

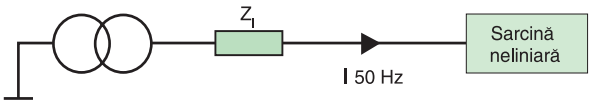



*Fig. M3: Instalație alimentând o sarcină neliniară unde sunt arătate numai fenomenele care au legatură cu frecvența de 50Hz (frecvență fundamentală).*

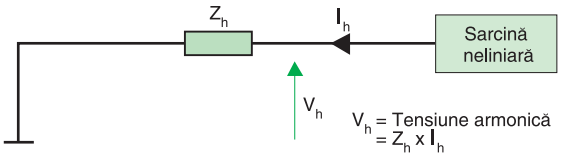
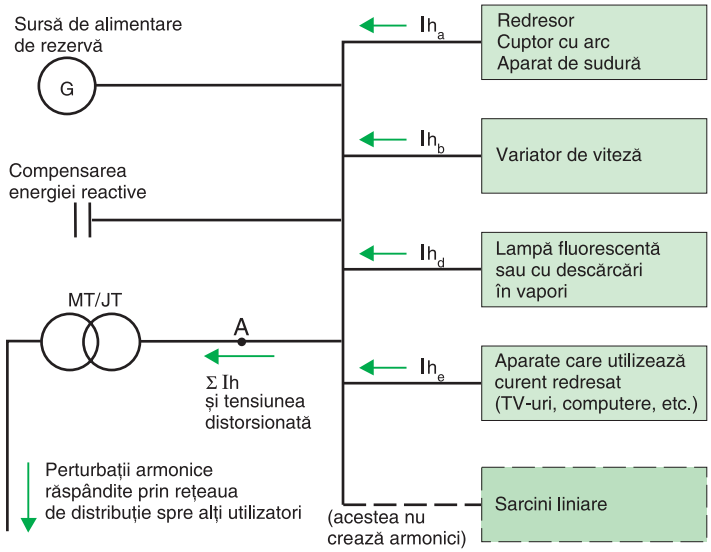



*Fig. M4: Aceeași instalație unde sunt arătate numai fenomenele care au legătură cu frecvența armonicii de ordin h.*

Alimentarea sarcinii neliniare crează o circulație a curentului $I_{50\ Hz}$ (arătată în **Fig. M3**), la care se adaugă fiecare din curenții armonici $I_h$ (arătați în **Fig. M4**) corespunzând fiecărei armonici de ordin h.
Considerând că sarcinile reinjectează curenți armonici în rețeaua de distribuție spre sursă este posibil să creăm o diagramă arătând curenții armonici din rețea (vezi **Fig. M5**).




***Notă:** în diagramă cu toate că anumite sarcini crează curenți armonici în rețeaua de distribuție, alte sarcini pot absorbi curenții armonici.*

*Fig. M5: Circulația curenților armonici într-o rețea de distribuție.*

Armonicile au efecte economice majore în instalații și anume:
- creșterea costurilor energetice;
- îmbătrânirea prematură a echipamentelor;
- pierderi de producție.

# 4 Principalele efecte ale armonicilor în instalații

## 4.1 Rezonanța

Utilizarea simultană a sarcinilor inductive și capacitive în rețelele electrice de distribuție conduce la rezonanță paralelă sau serie manifestată respectiv printr-o foarte mare sau foarte mică valoare a impedanței. Variația impedanței modifică curentul și tensiunea în rețeaua de distribuție. În cele ce urmează numai fenomenul de rezonanță paralelă, cel mai comun, va fi analizat.
Considerăm următoarea diagramă simplificată (vezi **Fig. M6**) reprezentând o instalație alcătuită din:

- un transformator de alimentare;
- sarcini liniare;
- sarcini neliniare care generează curenți armonici;
- condensatori pentru compensarea energiei reactive.

Pentru analiza armonicilor se utilizează diagrama echivalentă (vezi **Fig. M7**).
Impedanța Z este calculată ca:

$$Z = \frac{jL_s\omega}{1 - L_sC\omega^2}$$

neglijând R, și unde:

$L_s$ = inductanța alimentării (rețeaua din amonte + trasformator + linie)
C = capacitanța condensatorilor pentru compensarea energiei reactive
R = rezistența sarcinilor liniare
$I_h$ = curentul armonic.

Rezonanța apare atunci când numitorul $1 - L_sC\omega^2$ tinde către zero. Frecvența corespunzătoare este numită frecvență de rezonanță a circuitului. La acea frecvență impedanța circuitului atinge un maxim, și o mare cantitate de armonici de tensiune apar având ca rezultat distorsiuni majore ale undei de tensiune. Distorsiunea tensiunii este acompaniată în circuitul $L_s$+C de o circulație de curenți armonici mai mare decât circulația normală cerută de sarcini.

Rețeaua de distribuție și condensatorii pentru compensarea energiei reactive sunt supuși unor curenți armonici mari și riscului rezultant al suprasarcinilor. Pentru a evita rezonanța se instalează bobine antiarmonici în serie cu condensatorii.

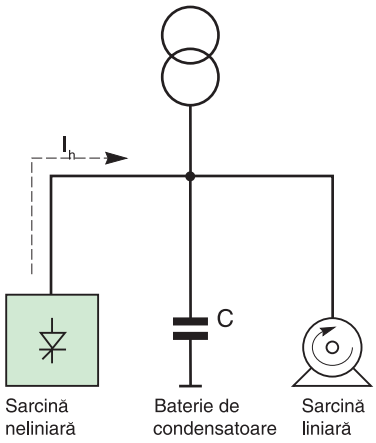



*Fig. M6: Diagrama unei instalații.*

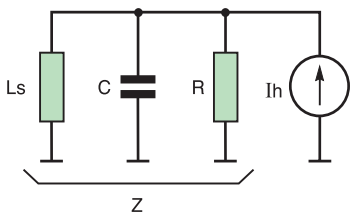



*Fig. M7: Diagrama echivalentă a instalației aratate în **Fig. M6**.*

## 4.2 Creșterea pierderilor

### Pierderile in conductoare

Puterea activă transmisă unei sarcini este funcție de componenta fundamentală $I_1$ a curentului.
Atunci când curentul solicitat de o sarcină conține armonici, valoarea eficace a curentului $I_{ef}$ este mai mare decât componenta fundamentală $I_1$.
Definiția THD este:

$$THD = \sqrt{\left(\frac{I_{ef.}}{I_1}\right)^2 - 1}$$

se poate deduce că: $I_{ef.} = I_1 \sqrt{1 + THD^2}$

**Figura M8** (pagina următoare) arată, în funcție de distorsiunea armonică:

- creșterea în curent eficace $I_{ef}$ pentru o sarcină solicitând un curent fundamental $I_1$ dat;
- creșterea pierderilor Joules, fără a ține cont de efectul superficial (punctul de referință în grafic este 1 pentru $I_{ef}$ și pierderile Joules în cazul când nu sunt armonici).

Curenții armonici provoacă o creștere a pierderilor Joules în toate conductoarele prin care circulă și creșteri suplimentare ale temperaturii în transformatoare, aparataj, cabluri, etc.

### Pierderile în mașinile asincrone

Tensiunile armonice (ordinul h) cu care se alimentează mașinile asincrone provoacă în rotor o circulație de curenți cu frecvențe mai mari de 50 Hz care sunt cauza unor pierderi suplimentare.

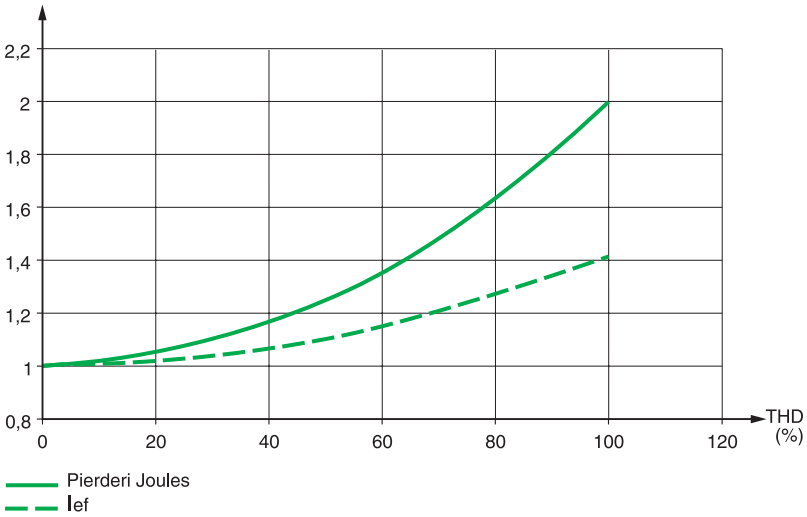



*Fig. M8: Creșterea curentului eficace și a pierderilor Joules în funcție de THD.*

**Ordine de mărime**

■ O formă de undă a tensiunii de alimentare virtual rectangulară ar provoca o creștere a pierderilor cu 20%;

■ O tensiune de alimentare având armonici $u_5$ = 8% (din $U_1$, armonica fundamentală de tensiune), $u_7$ = 5%, $u_{11}$ = 3%, $u_{13}$ = 1% ceea ce înseamnă un factor total de distorsiune armonică THDu egal cu 10% care conduce la pierderi adiționale de 6%

### Pierderile în transformatoare

Circulația de curenți armonici prin transformatoare provoacă o creștere a pierderilor în “cupru” datorită efectului Joules și a curenților turbionari. Armonicile de tensiune sunt responsabile de pierderile în “fier” datorită histeresisului.
În general se consideră că pierderile în înfășurări cresc cu pătratul lui THDi, iar pierderile în miez cresc liniar cu THDu.
În transformatoarele de distribuție publică unde nivelurile de distorsiune sunt limitate, pierderile pot crește între 10 și 15%.

### Pierderile în condensatoare

Tensiunile armonice aplicate condensatoarelor provoacă o circulație de curenți proporțională cu frecvența armonicilor. Acești curenți generează pierderi suplimentare.

**Exemplu**

O tensiune de alimentare are următoarele armonici:
Tensiunea armonică fundamentală $U_1$, tensiunile armonice $u_5$ = 8%(din $U_1$), $u_7$ = 5%, $u_{11}$ = 3%, $u_{13}$ = 1% ceea ce înseamnă un factor total de distorsiune armonică THDu egal cu 10%. Curentul este multiplicat cu 1,19 iar pierderile Joules sunt multiplicate cu $1{,}19^2$ adică 1,4.

## 4.3 Suprasolicitarea echipamentelor

### Generatoare

Generatoarele alimentând sarcini neliniare trebuiesc declasate datorită pierderilor suplimentare provocate de curenții armonici.
Nivelul declasării este de aproximativ 10% pentru un generator atunci când sarcina totală conține în proporție de 30% sarcini neliniare. Este deci necesar să supradimensionăm generatorul.

### Surse neîntreruptibile (UPS-uri)

Curentul solicitat de sistemele de computere are un factor de amplitudine foarte mare. Un UPS dimensionat exclusiv în funcție de valoarea eficace a curentului poate fi incapabil să alimenteze valoarea de vârf a curentului, fiind astfel suprasolicitat.

# 4 Principalele efecte ale armonicilor în instalații

## Transformatoare

■ Curba de mai jos (vezi **Fig. M9**) arată declasarea tipică necesară pentru un transformator ce alimentează sarcini conținând electronică.

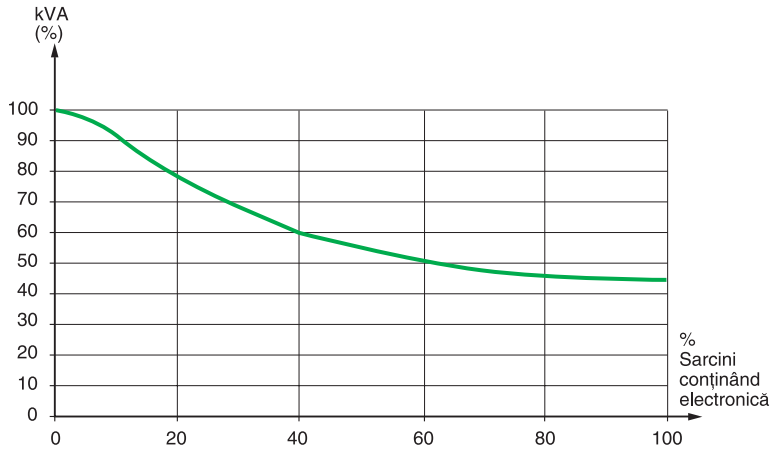



*Fig. M9: Declasarea pentru un transformator ce alimentează sarcini conținând electronică.*

**Exemplu**
Dacă un transformator alimentează o sarcină totală alcătuită în proporție de 40% din sarcini conținând electronică, el trebuie declasat cu 40%.
Standardul UTE C15-112 definește un factor de declasificare în funcție de curenții armonici

$$k = \frac{1}{\sqrt{1+0{,}1\left(\sum_{h=2}^{40} h^{1{,}6}\, T_h^2\right)}}$$

$$T_h = \frac{I_h}{I_1}$$

Valori tipice:
■ curent cu o formă de undă rectangulară (spectru 1/h(1)): k = 0,86;
■ curentul unui convertizor de frecvență (THD ≈ 50%): k = 0,80.

## Mașini asincrone

Standardul CEI 60892 definește factorul de tensiune armonică (Harmonic voltage factor, HVF), a cărui formulă și valoare maximă sunt prezentate mai jos.

$$HVF = \sqrt{\sum_{h=2}^{13} \frac{U_h}{h^2}} \leqslant 0{,}02$$

**Exemplu**
O sursă de alimentare are tensiunea de alimentare $U_1$ și tensiunile armonice $u_3$ = 2% din $U_1$, $u_5$ = 3%, $u_7$ = 1%. THDu este deci 3,7% iar HVF=0,018. Valoarea HVF este foarte aproape de valoarea maxim permisă peste care mașina trebuie declasată. Din punct de vedere practic, pentru alimentarea unei mașini nu trebuie depășit în nici un caz un THDu de 10%.

## Condensatori

Conform standardului CEI 60831-1 valoarea eficace a curentului care circulă prin condensatori nu trebuie să depășească 1,3 din curentul nominal.
Considerăm un exemplu de sursă cu tensiunea de alimentare $U_1$ și tensiunile armonice $u_5$ = 8% din $U_1$, $u_7$ = 5%, $u_{11}$ = 3%, $u_{13}$ = 1% adică un THDu de 10%, unde $I_{ef}/I_1$ = 1,19, la tensiunea nominală. Pentru o tensiune egală cu 1,1 ori tensiunea nominală, limita de curent $I_{ef}/I_1$ = 1,3 este depășită și este necesară redimensionarea condensatorilor.



*(1) De fapt forma de undă a curentului este similară cu o formă de undă rectangulară. Aceasta se întâmplă pentru toate redresoarele de curent (redresoare trifazate, cuptoare cu inducție).*

## Conductorul neutru

Considerăm un sistem format dintr-o sursă trifazată echilibrată și trei sarcini identice monofazate conectate între faze și neutru (vezi **Fig. M10**). **Figura M11** arată un exemplu de curenți circulând prin cele trei faze și curentul rezultant prin conductorul neutru.
În acest exemplu curentul eficace din conductorul neutru are o valoare mai mare decât curentul eficace prin conductoarele de fază cu un factor egal cu 3. Conductorul neutru trebuie, deci, supradimensionat.

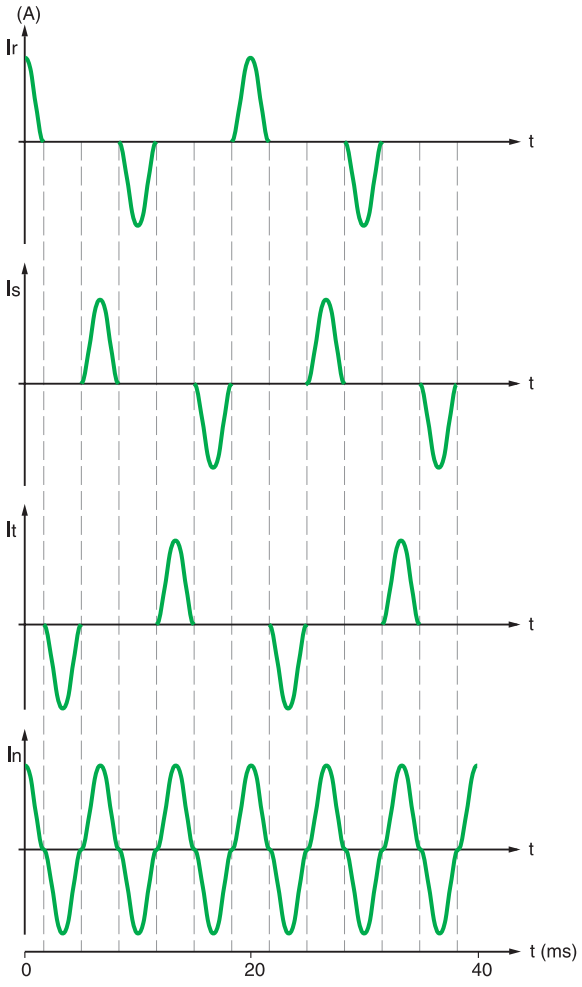



*Fig. M11: Exemplu de circulație a curenților prin conductoarele conectate la o sursă trifazată spre o sarcină trifazată ($I_n = I_r + I_s + I_t$).*

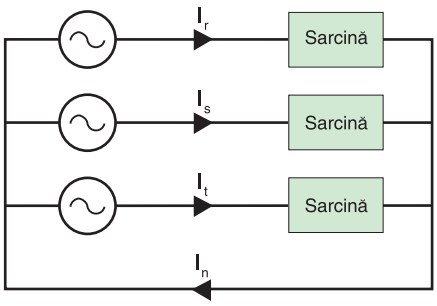



*Fig. M10: Circulația curenților prin conductoarele conectate la o sursă trifazată.*

## 4.4 Perturbații ce afectează consumatorii sensibili

### Efectele distorsiunii tensiunii de alimentare

Distorsiunea tensiunii de alimentare poate perturba operarea aparatelor sensibile:
- aparate de reglare (temperatura în special);
- componente ale computerelor;
- aparate de monitorizare și control (relee de protecție).

### Distorsiunea semnalelor telefonice

Armonicile provoacă perturbații și în circuitele de control (nivele joase ale curentului). Gravitatea distorsiunilor depinde de lungimea traseului paralel al cablurilor de putere și de control, de distanța între aceste cabluri precum și de frecvența armonicilor.

# 4 Principalele efecte ale armonicilor în instalații

## 4.5 Impactul economic

### Pierderile de energie

Armonicile provoacă pierderi suplimentare de energie (efectul Joule) în conductoare și echipamente.

### Creșterea puterii contractate

Prezența curenților armonici poate impune creșterea puterii contractate și în consecință creșterea costurilor.
Mai mult decât atât, în viitorul apropiat serviciilor publice de electricitate vor începe cu siguranță să taxeze consumatorii cu surse majore de perturbații armonice

### Supradimensionarea echipamentelor

- Declasarea surselor de energie (generatoare, transformatoare și UPS-uri) înseamnă că acestea trebuiesc supradimensionate.
- Conductoarele trebuiesc dimensionate luând în calcul circulația de curenți armonici. În plus, datorită efectului pelicular, rezistența acestor conductoare crește cu frecvența. Pentru a evita pierderile exagerate datorită efectului Joule este necesar să supradimensionăm conductoarele.
- Circulația de armonici în conductorul neutru înseamnă că și acesta trebuie supradimensionat.

### Reducerea duratei de viață a echipamentelor

Atunci când nivelul de distorsiuni al tensiunii de alimentare este în jur de 10%, durata de viață a echipamentelor se reduce semnificativ. Reducerea a fost estimată la:
- 32,5% pentru motoarele monofazate;
- 18% pentru motoarele trifazate;
- 5% pentru transformatoare.

Pentru a menține durata de viață corespunzătoare sarcinii nominale, echipamentul trebuie supradimensionat.

### Declanșările intempestive și oprirea instalațiilor

Întreruptoarele automate din instalații sunt supuse unor vârfuri de curent cauzate de armonici.
Aceste vârfuri de curent pot provoca declanșări intempestive având ca rezultat pierderi de producție, pe lângă costurile generate de repornirea instalației.

### Exemple

Date fiind consecințele economice pentru instalațiile enumerate mai jos a fost necesar să se instaleze filtre antiarmonici.

**Centru de calcul pentru o companie de asigurări**
În acest centru, declanșarea intempestivă a unui întreruptor automat s-a calculat că a avut un cost de 100 k€ pe oră de întrerupere.

**Laborator farmaceutic**
Armonicile au provocat avaria unui generator și întreruperea unui test de lungă durată asupra unui nou medicament. Consecințele au fost estimate la 17 M€.

**Hală metalurgică**
O baterie de cuptoare cu inducție a provocat supraîncărcarea și distrugerea a trei transformatoare între 1600 și 2500 kVA într-un singur an. Pe lângă costul transformatoarelor costul unei ore de întrerupere a fost evaluat la 20 k€ pe oră.

**Fabrică de mobilă de grădină**
Defectarea unor variatoare de viteză a condus la pagube de producție estimate la 10 k€ pe oră.

# 5 Indicatorii esenţiali ai distorsiunilor armonice şi principii de măsurare

Un număr de indicatori sunt utilizaţi pentru a cuantifica şi evalua distorsiunea armonică a formei de undă de curent şi tensiune şi anume:
- factorul de putere;
- factorul de amplitudine;
- puterea distorsionată;
- spectrul armonicilor;
- valorile distorsiunii armonice.

Aceşti indicatori sunt indispensabili în determinarea oricăror acţiuni corective.

## 5.1 Factorul de putere

### Definiţie

Factorul de putere (PF - Power Factor) este raportul dintre puterea activă P şi puterea aparentă S.

$$PF = \frac{P}{S}$$

Printre electricieni există adesea confuzia cu:

$$\cos \varphi = \frac{P1}{S1}$$

unde:

P1 = puterea activă a fundamentalei

S1 = puterea aparentă a fundamentalei

Cos $\varphi$ priveşte exclusiv frecvenţa fundamentală şi, de aceea, diferă de factorul de putere PF atunci când armonicele sunt prezente în instalaţii.

### Interpretarea factorului de putere

O indicaţie iniţială că avem de-a face cu un număr ridicat de armonici este un factor de putere PF măsurat diferit (mai mic) decât cos $\varphi$ măsurat.

## 5.2 Factorul de amplitudine

### Definiţie

Factorul de amplitudine este raportul între valoarea de vârf a curentului sau tensiunii ($I_m$ sau $U_m$) şi valoarea eficace.
- Pentru un semnal sinusoidal, valoarea factorului de amplitudine este deci egală cu $\sqrt{2}$.
- Pentru un semnal nesinusoidal, valoarea factorului de amplitudine poate fi mai mare sau mai mică decât $\sqrt{2}$.

În cazul din urmă, formele diferitelor armonici au vârfuri diferite.

### Interpretarea factorului de amplitudine

Factorul de amplitudine pentru curentul absorbit de o sarcină neliniară este mult mai mare decât $\sqrt{2}$. Este în general între 1,5 şi 2 şi poate ajunge la 5 în cazuri deosebite. Un factor de amplitudine ridicat semnalează curenţi tranzitorii de valori ridicate care pot provoca declanşări intempestive.

## 5.3 Puterile şi armonicile

### Puterea activă

Puterea activă P a unui semnal incluzând armonici este suma puterilor active rezultate din curenţii şi tensiunile de acelaşi ordin.

### Puterea reactivă

Puterea reactivă Q este definită în mod exclusiv de armonica fundamentală adică: $Q = U_1 \times I_1 \times \sin \varphi_1$.

### Puterea distorsionată

Atunci când armonicile sunt prezente, puterea distorsionată D este definită ca:

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2}$$

unde S este puterea aparentă.

# 5 Indicatorii esențiali ai distorsiunilor armonice și principii de măsurare

## 5.4 Spectrul armonic și distorsiunea armonică

### Principiu

Fiecare tip de dispozitiv generator de armonici are o formă de undă particulară a curentului armonic (amplitudine și deplasarea fazei). Aceste valori, în special amplitudinea fiecărui ordin al armonicilor sunt esențiale pentru analiză.

### Distorsiunea armonică individuală (sau distorsiunea armonicii de ordin h)

Distorsiunea armonică individuală este definită ca raportul procentual între armonica de ordin h și fundamentală:

$$u_h(\%) = 100\frac{U_h}{U_1}$$

sau

$$i_h(\%) = 100\frac{I_h}{I_1}$$

### Spectrul armonic

Prin reprezentarea amplitudinii fiecărui ordin de armonici în funcție de frecvența proprie este posibilă obținerea unui grafic numit spectrul armonic.
**Figura M12** arată un exemplu al spectrului armonic pentru un semnal rectangular.

### Valoarea eficace (ef)

Valoarea eficace a tensiunii și a curentului poate fi calculată în funcție de valorile eficace ale diverselor ordine de armonici:

$$I_{ef.} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}$$

sau

$$U_{ef.} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} U_h^2}$$

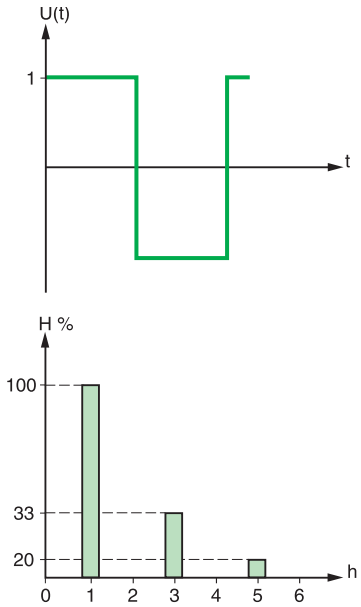



*Fig. M12: Spectrul armonic al unui semnal rectangular, pentru o tensiune U(t).*

## 5.5 Distorsiunea armonica totală (THD - Total Harmonic Distorsion)

Termenul THD înseamnă “Total Harmonic Distorsion” - Distorsiunea Armonică Totală - și este cea mai răspândită noțiune în definirea conținutului în armonici a unui semnal de curent alternativ.

**Definiția THD**

Pentru un semnal y, THD este definit ca:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} y_h^2}}{y_1}$$

Aceasta corespunde definiției date în standardul CEI 61000-2-2.
**Notă:** Valoarea THD poate depăși 1.
Conform standardului, variabila h poate fi limitată la 50. THD este mijlocul de a exprima printr-un singur număr distorsiunea afectând o circulație de curent sau tensiune într-un punct dat dintr-o instalație.
THD este exprimat în general ca procentaj.

**THD de curent și tensiune**

Pentru armonici de curent ecuația este:

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

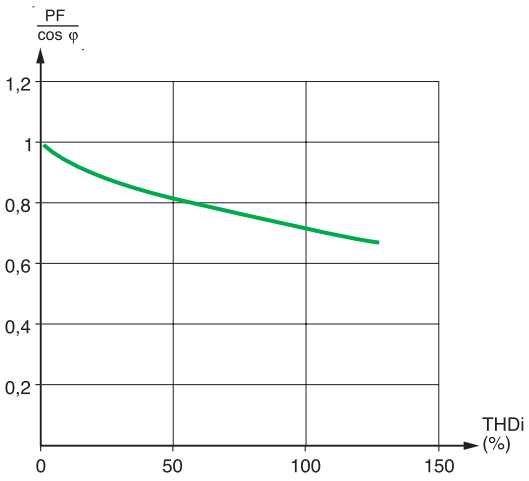



*Fig. M13: Variaţia* $\frac{PF}{\cos\varphi}$ *în funcţie de THDi unde THDu = 0.*

Ecuaţia de mai jos este echivalentă cu cea de mai sus, dar este mai uşor de utilizat atunci când valoarea eficace totală este cunoscută:

$$THD_i = \sqrt{\left(\frac{I_{ef.}}{I_1}\right)^2 - 1}$$

Pentru armonici de tensiune ecuaţia este:

$$THD_u = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}}{U_1}$$

### Relaţia între factorul de putere şi THD (vezi Fig. M13)

Atunci când tensiunea este sinusoidală sau aproape sinusoidală putem spune că:

$$P \approx P_1 = U_1.I_1.\cos\varphi_1$$

În consecinţă: $PF = \frac{P}{S} \approx \frac{U_1.I_1.\cos\varphi_1}{U_1.I_{ef.}}$

deoarece: $\frac{I_1}{I_{ef.}} = \frac{1}{\sqrt{1+THDi^2}}$

rezultă: $PF \approx \frac{\cos\varphi_1}{\sqrt{1+THDi^2}}$

**Figura M13** arată un grafic de $\frac{PF}{\cos\varphi}$ ca funcţie de THDi.

## 5.6 Utilitatea diferiţilor indicatori

THDu caracterizează distorsiunea formei de undă de tensiune.
Mai jos sunt prezentate câteva valori ale THDu şi fenomenele corespondente din instalaţii:

- THDu sub 5% - situaţie normală, nici un risc de funcţionare defectuoasă;
- 5% la 8% - poluare armonică semnificativă, funcţionare defectuoasă posibilă;
- peste 8% - poluare armonică majoră, funcţionare defectuoasă probabilă. Este necesară analiza aprofundată şi montarea unor instalaţii de atenuare.

THDi caracterizează distorsiunea formei de undă de curent.
Aparatul perturbator este identificat măsurând THDi la intrare şi la fiecare ieşire a diverselor circuite, urmărind astfel urma armonicilor.
Mai jos sunt prezentate câteva valori ale THDi şi fenomenele corespondente din instalaţii:

- THDi sub 10% - situaţie normală, nici un risc de funcţionare defectuoasă;
- 10% la 50% - poluare armonică semnificativă, riscuri de supraîncălzire şi necesitatea supradimensionării cablurilor şi surselor;
- peste 50% - poluare armonică majoră, funcţionare defectuoasă probabilă. Este necesară analiza aprofundată şi montarea unor instalaţii de atenuare.

**Factorul de putere PF (Power Factor)**
Este utilizat pentru a evalua supradimensionarea sursei de energie din instalaţie.

**Factorul de amplitudine**
Este utilizat pentru a caracteriza aptitudinea unui generator (sau UPS) de a alimenta curenţi de vârf ridicaţi. De exemplu echipamentele de calcul absorb curent extrem de deformant cu un factor de amplitudine ce poate atinge de la 3 la 5.

**Spectrul armonic (descompunerea semnalului pe frecvenţe)**
Furnizează informaţii asupra semnalului electric şi poate fi utilizat pentru evaluarea distorsiunii.

# 6 Măsurarea indicatorilor

## 6.1 Dispozitive utilizate pentru măsurarea indicatorilor

### Selectarea dispozitivelor

Metodele tradiționale de observație și de măsură includ:
- Observația utilizând un osciloscop

O indicație inițială a distorsiunilor ce afectează un semnal poate fi obținută vizualizând curentul sau tensiunea cu ajutorul unui osciloscop.
Forma de undă, atunci când diferă de cea sinusoidală, indică cu certitudine prezența armonicilor. Pot fi văzute vârfurile de curent și tensiune.
Cu toate acestea, metoda nu oferă o cuantificare precisă a componentelor armonice.
- Analizoare spectrale analogice

Constau într-o serie de filtre cuplate la un voltmetru pentru valori eficace. Oferă o performanță mediocră și nu furnizează informații despre deplasarea fazelor.
Numai cele mai recente analizoare spectrale digitale pot determina suficient de precis valorile tuturor indicatorilor menționați mai sus.

### Funcțiile analizoarelor spectrale digitale

Microprocesoarele din analizoarele digitale:
- calculează valorile indicatorilor de armonici (factorul de putere, factorul de amplitudine, puterea distorsionată, THD);
- îndeplinesc numeroase funcții complementare (corecții, detecții statistice, managementul măsurătorilor, afișare rezultate, comunicație pe rețea, etc.);
- analizoarele multicanal furnizează informații în timp real asupra compoziției spectrale a curenților și tensiunilor.

### Funcționarea analizoarelor spectrale și procesarea datelor

Semnalele analogice sunt convertite într-o serie de valori numerice.
Utilizând aceste date, un algoritm calculează amplitudinea și faza armonicilor pentru un număr mare de ferestre de timp, utilizând un algoritm rapid de transformare în serii Fourier.
Cele mai multe analizoare digitale măsoară armonicile până la ordinul 20 sau 25 atunci când calculează THD-ul.
Procesarea rezultatelor utilizând seriile Fourier se poate face de către dispozitivul de măsură sau de către un software extern.

## 6.2 Proceduri pentru analiza armonicilor în rețelele de distribuție

Măsurătorile sunt efectuate la obiectivele industriale sau comerciale:
- preventiv, pentru a obține o evaluare generală a rețelei de distribuție;
- în vederea unei acțiuni corective:
  - pentru a identifica o perturbație și a determina soluțiile necesare pentru a o elimina,
  - pentru a verifica practic validitatea unei soluții (ca urmare a modificării rețelei în încercarea de a reduce armonicile).

### Modul de operare

Curentul și tensiunea sunt studiate:
- lângă sursa de alimentare;
- pe barele tabloului general de joasă tensiune (sau pe barele de medie tensiune);
- pe fiecare circuit de plecare din tabloul general de joasă tensiune (sau de pe barele de medie tensiune).

Pentru măsurători este necesar să cunoaștem condițiile precise de operare ale instalației și în particular situația bateriei de condensatoare (în funcție, în rezervă, numărul de trepte conectate/deconectate).

### Analiza rezultatelor

- determinarea oricărei declasări a echipamentelor din instalație, sau
- cuantificarea necesarului de protecții antiarmonice și sisteme de filtrare ce trebuiesc instalate în rețeaua de distribuție;
- permite comparația între valorile măsurate și valorile de referință ale furnizorului de energie (valori maxime ale armonicilor, valori acceptabile, valori de referință).

### Utilizarea dispozitivelor de măsură

Dispozitivele de măsură servesc atât pentru a măsura efectele instantanee cât și cele pe termen lung ale armonicilor. Analizele cer măsurători pe o durată de la câteva secunde la câteva minute, în cadrul unui ciclu de observație de mai multe zile.
Valorile cerute includ:
- amplitudinile armonicilor de curent și tensiune;
- armonicile individuale ale fiecărui ordin de armonici, în curent și tensiune;
- THD pentru curent și tensiune;
- unde este posibil, defazajul între tensiunea armonică și curentul armonic de același rang și fază a armonicii respectând o referință comună (de exemplu armonica de tensiune fundamentală).

## 6.3 Monitorizarea armonicilor

Indicatorii armonici pot fi măsurați:
- fie prin dispozitive instalate permanent în rețeaua de distribuție;
- fie de către un expert prezent cel puțin o jumătate de zi la obiectiv (percepție limitată).

### Utilizarea dispozitivelor amplasate permanent în rețea este preferabilă

Pentru un număr de motive, instalarea unor dispozitive permanente de măsură în rețeaua de distribuție este preferabilă.
- Prezența unui expert este limitată în timp. Numai un număr de măsurători în diverse puncte ale instalației și pe o perioadă de timp suficient de lungă (de la o săptămână la o lună) vor furniza suficiente date pentru o vedere de ansamblu a situației și numai astfel pot fi luate în considerare toate situațiile ce pot apărea cum ar fi:
  - ☐ fluctuațiile sursei de alimentare,
  - ☐ variațiile în funcționarea instalației,
  - ☐ adăugarea unor noi echipamente în instalație;
- Dispozitivele de măsurare instalate în rețeaua de distribuție pregătesc și ușurează diagnoza experților, reducând numărul și durata vizitelor acestora;
- Dispozitivele de măsurare permanente detectează orice nouă perturbație apărută ca urmare a instalării unui nou echipament, implementării unui nou sistem de operare sau fluctuațiilor în rețeaua de alimentare.

### Avantajele dispozitivelor de măsurare și detecție încorporate

Dispozitivele de măsurare și detecție încorporate în echipamentele electrice de distribuție:
- Pentru o evaluare de ansamblu a situației rețelei electrice (analiză preventivă) evită:
  - ☐ închirierea echipamentelor de măsură,
  - ☐ angajarea expertilor,
  - ☐ necesitatea de a conecta și deconecta echipamentul de măsură.

Pentru o evaluare de ansamblu a statutului rețelei electrice, analiza tabloului general de joasă tensiune (TGJT) poate fi efectuată de aparatul de sosire în tablou și/sau dispozitivele de măsură care echipează fiecare circuit de plecare.
- Pentru o acțiune corectivă există mijloace:
  - ☐ pentru determinarea condițiilor de funcționare în perioada incidentului,
  - ☐ schițarea unei “hărți” a rețelei de distribuție și evaluarea soluției de implementat.

Diagnoza este îmbunătățită prin utilizarea echipamentelor destinate studierii problemei.

# 7 Dispozitive de detecție

*Sistemul PowerLogic cu Power Meter, Circuit Monitor, Micrologic oferă o gamă completă de dispozitive pentru detecția distorsiunilor armonice.*

***Fig. M14:*** *Circuit monitor.*

***Fig. M15:*** *Unitățile de control Micrologic H cu măsurarea armonicilor pentru întreruptoarele automate Masterpact NT și NW.*

Măsurătorile sunt primul pas pentru stăpânirea fenomenului poluării cu armonici. În funcție de condițiile din fiecare instalație, diverse tipuri de echipamente furnizează soluțiile potrivite.

## Unități de monitorizare a energiei

**Power Meter și Circuit Monitor în sistemul PowerLogic**

Aceste produse oferă posibilitatea efectuării unor măsurători de înaltă performanță pentru rețelele de distribuție de medie și joasă tensiune. Ele sunt produse care utilizează tehnologia digitală și includ funcții de monitorizare a calității energiei. Sistemul PowerLogic este o ofertă completă incluzând Power Meter (PM) și Circuit Monitor (CM). Această ofertă modulară acoperă o arie mare de necesități, de la cele mai simple (Power Meter) până la cele mai complexe cerințe (Circuit Monitor). Aceste produse pot fi utilizate în instalații noi sau existente, unde calitatea energiei trebuie să fie excelentă. Modul de operare poate fi local sau telecomandat.
În funcție de poziția sa în rețeaua de distribuție, Power Meter furnizează o primă indicație asupra calității energiei. Principalele măsurători ce pot fi efectuate de Power Meter sunt:
- THD de curent și tensiune;
- factorul de putere.

În funcție de versiunea aparatului, aceste măsurători pot fi combinate cu marcarea orei la care s-a făcut măsurătoarea (amprentă de timp) și funcții de alarmă.
Un Circuit Monitor (vezi **Fig. M14**) efectuează o analiză detaliată a calității energiei, analizând de asemenea și perturbațiile din rețeaua de distribuție a energiei.
Principalele funcții ale unui Circuit Monitor sunt:
- măsurătorile a peste 100 de parametri electrici;
- memorare cu amprentă de timp a valorilor minime și maxime pentru fiecare parametru electric;
- funcții de alarmă declanșate de valorile fiecărui parametru electric;
- înregistrarea orei la care s-a produs un eveniment;
- înregistrarea perturbațiilor de curent și tensiune;
- analiza armonicilor;
- preluarea formei de undă (monitorizarea perturbațiilor).

**Micrologic - un dispozitiv de monitorizare a energiei inclus într-un întreruptor automat**

Pentru instalațiile noi, unitățile de control Micrologic H (vezi **Fig. M15**), parte integrantă a întreruptoarelor automate de joasă tensiune Masterpact, sunt utile pentru măsurători la intrarea în instalație sau pe cele mai importante plecări (de curenți mari).
Unitățile de control Micrologic H oferă o analiză precisă a calității energiei și un diagnostic detaliat al evenimentelor. Ele sunt proiectate pentru operarea în legătură cu o unitate de afișaj a tabloului electric. Ele pot:
- măsura curentul, tensiunea, puterea activă și reactivă;
- măsura THD de curent și tensiune;
- afișa amplitudinea și faza armonicilor de curent și tensiune până la ordinul 51;
- efectua preluarea formei de undă (monitorizarea perturbațiilor).

Funcțiile oferite de unitatea de control Micrologic H sunt similare cu cele oferite de Circuit Monitor.

## Funcționarea unităților de monitorizare a energiei

**Soft pentru operarea la distanță și analiză**

În cadrul mai general al cerințelor de monitorizare a unei rețele electrice de distribuție, posibilitatea de interconectare a acestor diferite aparate poate fi oferită de o rețea de comunicație, făcând astfel posibilă centralizarea informației și obținerea unei informații de ansamblu a perturbațiilor dintr-o rețea de distribuție.
În funcție de aplicație, un operator poate efectua măsurători în timp real, calcula valorile cerute, rula preluările de forme de undă, anticipa alarmele, etc.
Unitățile de monitorizare a energiei transmit toate datele disponibile pe o rețea Modbus, Digipact sau Ethernet. Obiectivul esențial al acestui sistem este asistența în identificarea și planificarea activității de întreținere. De asemenea, este un mijloc eficient de a reduce timpii de întreruperi și de a dimensiona eventualele echipamente de filtrare.

**Soft de supervizare SMS**

SMS este un soft complet utilizat pentru analiza rețelei de distribuție, fiind în legătură cu produsele din sistemul PowerLogic. Instalat pe un PC standard el poate:
- afișa măsurătorile în timp real;
- afișa jurnalele istorice, pe o perioadă dată;
- selecta modul de afișare al datelor (tabele, grafice, etc.);
- efectua procesări statistice ale datelor și afișarea unor diagrame.

# 8 Soluții pentru atenuarea armonicilor

Există trei tipuri diferite de soluții pentru atenuarea armonicilor:
- modificarea instalațiilor;
- echipamente speciale în sistemul de alimentare;
- filtrare.

## 8.1 Soluții de bază

Pentru limitarea propagării armonicilor în rețeaua de distribuție sunt disponibile diferite soluții, care trebuiesc luate în considerare în special când se proiectează o noua instalație.

### Poziționarea sarcinilor neliniare în amonte

În general perturbațiile armonice cresc pe măsură ce puterea de scurtcircuit descrește. Lăsând de o parte considerațiile economice, este preferabil să conectăm sarcinile neliniare pe cât posibil în amonte, cât mai aproape de sursă (vezi **Fig. M16**).

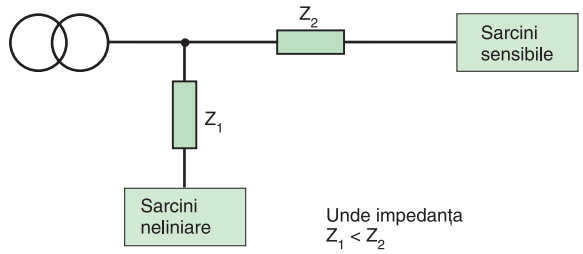



*Fig. M16: Sarcinile neliniare poziționate pe cât posibil în amonte.*

### Gruparea sarcinilor neliniare

La pregătirea schemei monofilare sarcinile neliniare trebuiesc separate de celelalte (vezi **Fig. L17**). Cele două grupuri de dispozitive trebuiesc alimentate din bare diferite.

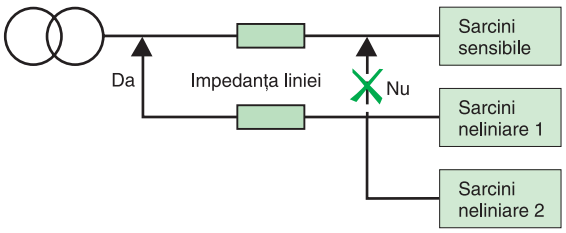



*Fig. M17: Gruparea sarcinilor neliniare și poziționarea pe cât posibil în amonte.*

### Crearea surselor separate

În încercarea de limitare a armonicilor, îmbunătățiri suplimentare pot fi obținute creând o sursă printr-un transformator separat, așa cum este indicat în **Fig. M18**. Dezavantajul este creșterea costului instalației.

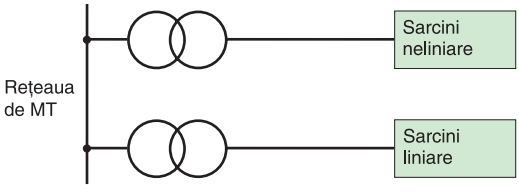



*Fig. M18: Alimentarea sarcinilor neliniare printr-un transformator separat.*

# 8 Soluții pentru atenuarea armonicilor

## Transformatoare cu grupe de conexiuni speciale

Transformatoare cu diferite grupe de conexiuni pot elimina armonicile de un anumit ordin, așa cum se poate vedea din exemplele următoare:
- grupa de conexiuni Dyd elimină armonicile de ordin 5 și 7 (vezi **Fig. M19**);
- grupa de conexiuni Dy elimină armonicile de ordin 3;
- grupa de conexiuni Dz5 elimină armonicile de ordin 5.

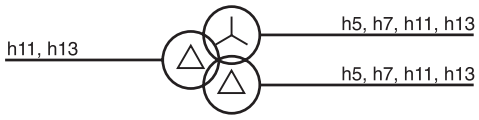



*Fig. M19: Un transformator având grupa de conexiuni Dyd elimină armonicile de ordin 5 și 7 din rețeaua amonte.*

## Instalarea bobinelor de reactanță

Atunci când sunt alimentate variatoare de viteză, este posibil să netezim curentul prin instalarea reactanțelor serie. Prin creșterea impedanței circuitului de alimentare, curentul armonic este limitat.
Instalarea reactanțelor de reducere a armonicilor la bateriile de condensatoare crește impedanța combinației reactanță/condensatoare pentru armonicile de ordin mare.
Aceasta evită rezonanța și protejază condensatoarele.

### Alegerea sistemului potrivit de tratare a neutrului

**Sistemul TNC**
În sistemul TNC, un singur conductor (PEN) furnizează protecția în eventualitatea unui defect de punere la pământ sau circulației dezechilibrate de curenți.
În condiții normale, curenții armonici circulă prin PEN. Acesta are o oarecare impedanță care are ca rezultat o ușoară diferență în potențial (câțiva volți) între echipamente, ceea ce poate genera o nefuncționare a echipamentelor electronice.
Din această cauză sistemul TNC trebuie rezervat pentru alimentarea circuitelor din amonte și nu pentru alimentarea sarcinilor sensibile.

**Sistemul TNS**
Acest sistem este recomandat în prezența armonicilor.
Conductorul neutru și conductorul de protecție PE sunt complet separate și potențialul rețelei de distribuție este mai uniform.

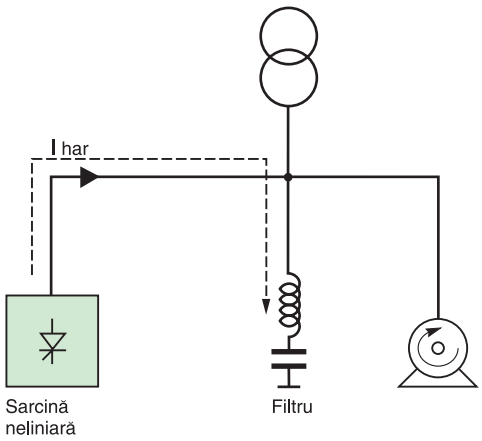



*Fig. M20: Principiul de funcționare a unui filtru pasiv.*

## 8.2 Filtrarea armonicilor

În cazurile unde acțiunile preventive prezentate mai sus se dovedesc insuficiente este necesar să echipăm instalațiile cu sisteme de filtrare.
Exista trei tipuri de filtre:
- pasive;
- active;
- hibride.

### Filtre pasive

**Aplicații tipice**
- instalații industriale cu un set de sarcini neliniare reprezentând mai mult de 200 kVA (variatoare de viteză, surse neîntreruptibile UPS-uri, redresoare, etc.);
- instalații la care se impune compensarea energiei reactive (corecția factorului de putere);
- instalații unde distorsiunea tensiunii trebuie redusă pentru evitarea perturbării sarcinilor sensibile;
- instalații unde distorsiunea curentului trebuie redusă pentru evitarea suprasarcinilor.

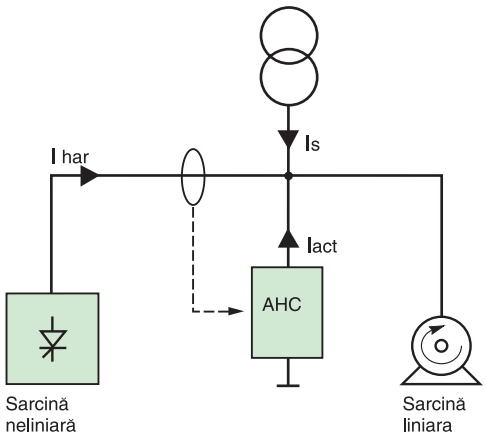



*Fig. M21: Principiul de funcționare a unui filtru activ.*

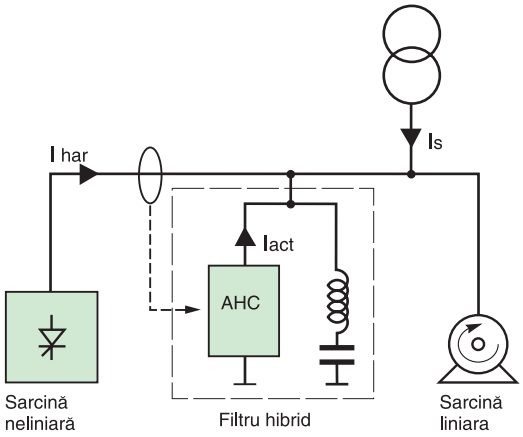



*Fig. M22: Principiul de funcționare a unui filtru hibrid.*

**Principiu de funcționare**
Un circuit LC, acordat pe fiecare armonică ce trebuie filtrată, este instalat în paralel cu sarcina neliniară (vezi **Fig. M20**). Acest circuit absoarbe armonicile, așa încât se evită circulația lor în rețeaua de distribuție.
General vorbind, filtrele pasive sunt acordate pe un ordin al armonicilor apropiat de ordinul necesar a fi eliminat. Se pot conecta în paralel câteva filtre dacă este cerută o reducere a unui număr mare de armonici.

## Filtre active (condiționere)

**Aplicații tipice**
- instalații din sfera comercială cu un set de sarcini neliniare reprezentând mai puțin de 200 kVA (variatoare de viteză, surse neîntreruptibile UPS-uri, echipament de birou, etc.);
- instalații unde distorsiunea curentului trebuie redusă pentru evitarea suprasarcinilor.

**Principiu de funcționare**
Aceste sisteme, cuprinzând electronică de putere și instalate în serie sau în paralel cu sarcina neliniară, compensează curentul sau tensiunea armonică absorbită de către sarcină.
**Figura M21** arată un filtru activ (AHC) compensând curentul armonic ($I_{har} = - I_{act}$). AHC injectează în opoziție de fază fața de armonicile absorbite de sarcina neliniară așa încât curentul de linie $I_s$ rămâne sinusoidal.

## Filtre hibride

**Aplicații tipice**
- instalații industriale cu un set de sarcini neliniare reprezentând mai mult de 200 kVA (variatoare de viteză, surse neîntreruptibile UPS-uri, redresoare, etc.);
- instalații la care se impune compensarea energiei reactive (corecția factorului de putere);
- instalații unde distorsiunea tensiunii trebuie redusă pentru evitarea perturbării sarcinilor sensibile;
- instalații unde distorsiunea curentului trebuie redusă pentru evitarea suprasarcinilor;
- instalații unde este necesară limitarea strictă a emisiilor armonice.

**Principiu de funcționare**
Filtrele pasive și active sunt combinate într-un singur sistem pentru a constitui un filtru hibrid (vezi **Fig. L22**). Această soluție de filtrare oferă avantajele ambelor tipuri de filtre și acoperă o gamă largă de puteri și de niveluri de performanță.

## Criterii de selecție

**Filtrele pasive**
Compensează energia reactivă și filtrează curenții importanți.
Filtrele pasive reduc tensiunile armonice în instalație atunci când sursa este perturbată. Dacă nivelul de alimentare cu putere reactivă este ridicat, este bine să deconectăm filtrul pasiv în momentele când sarcina este redusă.
Studiile preliminare pentru un filtru trebuie să ia în calcul posibila prezență a unei baterii de condensatoare pentru compensarea energiei reactive care trebuie poate eliminată.

**Filtrele active condiționere**
Filtrează o gamă largă de frecvențe și se pot adapta oricărui tip de sarcină.
Pe de altă parte puterile nominale sunt reduse.

**Filtrele hibride**
Combină performanțele filtrelor active și pasive.

# 8 Soluții pentru atenuarea armonicilor

*Un set complet de servicii poate fi oferit pentru eliminarea armonicilor:*
- *analiza instalației;*
- *sisteme de măsurare și monitorizare;*
- *soluții de filtrare.*

## 8.3 Metoda

Cea mai bună soluție, în termeni tehnici și financiari, este bazată pe rezultatele unor studii aprofundate.

### Auditul armonicilor rețelelor de MT și JT

Lucrând cu un expert, vi se garantează că soluția propusă va produce rezultatele dorite (exemplu un THDu maxim garantat).
Auditul armonicilor este efectuat de către un inginer specialist în perturbațiile ce afectează rețelele electrice de distribuție și care trebuie să fie echipat cu echipament de analiză și simulare și software-ul aferent.
Pașii auditului sunt următorii:
- măsurarea perturbațiilor afectând curentul, tensiunile de linie și de fază la sursa de alimentare, circuitele de plecare perturbate și sarcinile neliniare;
- modelarea pe calculator a fenomenului pentru a obține o explicație precisă a cauzelor și pentru a determina cele mai bune soluții;
- un raport de audit prezentând:
  - nivelul actual at perturbațiilor,
  - nivelul maxim permis al perturbațiilor (CEI 61000, CEI 34, etc.);
- o propunere conținând soluții care garantează nivelul de performanță;
- în final implementarea soluțiilor selectate utilizând mijloacele și resursele necesare.

Întreg procesul de audit este certificat ISO 9002.

## 8.4 Produse specifice

**Filtre pasive**

Filtrele pasive sunt formate din bobine și condensatori montați într-un circuit rezonant acordat pe armonica de un anumit ordin care trebuie eliminată.
Un sistem poate conține un număr de filtre pentru eliminarea câtorva ordine de armonici.
Pentru un sistem trifazat de 400V, puterile nominale pot atinge:
- 265 kVAR/470A pentru armonica de ordin 5;
- 145 kVAR/225A pentru armonica de ordin 7;
- 105 kVAR/145A pentru armonica de ordin 11.

Filtrele pasive pot fi create pentru toate tensiunile și toate nivelurile de curenți.

**Filtre active**

- Filtru activ SineWave
  - trifazat, 400V, poate condiționa între 20 și 120 A pe fază,
  - filtrează ordinele de armonici între 2 și 25. Filtrarea poate fi totală sau pot fi țintite anumite ordine de armonici,
  - atenuare THDi sarcină/THDi amonte mai mare decât 10, la capacitatea nominală,
  - funcțiile includ compensarea energiei reactive, condiționarea armonicii homopolare, diagnoza și mentenanța sistemului, conectarea în paralel, comanda la distanță, interfața de comunicație JBus/RS485.
- Filtru activ Accusine
  - trifazat, 400V și 480V, poate condiționa între 50 și 30 A pe fază,
  - filtrează ordinele de armonici până la 50,
  - funcțiile includ compensarea energiei reactive, conectarea în paralel, răspuns instantaneu la variațiile de sarcină.

**Filtre hibride**

Aceste filtre combină avantajele filtrelor pasive și filtrului activ SineWave într-un singur sistem.
- Filtru pasiv de ordin 5;
- Filtru activ pentru armonici cu valori între 20 și 120 A pe fază;
- Trifazat, 400V;
- Compensarea energiei reactive până la 265 kVAR;
- Filtrează armonici de ordinele între 2 și 25;
- Filtrează curenți armonici până la 440 A.

# Capitolul N
# Surse și sarcini particulare

## Cuprins


| | | |
|---|---|---|
| **1** | **Protecția generatoarelor de joasă tensiune și a circuitelor din aval** | **N2** |
| | 1.1 Protecția generatorului | N2 |
| | 1.2 Protecția rețelei de joasă tensiune din aval | N5 |
| | 1.3 Funcții de monitorizare | N5 |
| | 1.4 Conectarea în paralel a generatoarelor | N10 |
| **2** | **Surse de alimentare neîntreruptibile (UPS)** | **N11** |
| | 2.1 Disponibilitatea și calitatea energiei electrice | N11 |
| | 2.2 Tipuri de UPS-uri statice | N12 |
| | 2.3 Baterii | N15 |
| | 2.4 Sistemul de tratare a neutrului în instalațiile cu UPS-uri | N16 |
| | 2.5 Alegerea schemei de protecție | N18 |
| | 2.6 Instalarea, conectarea și dimensionarea cablurilor | N20 |
| | 2.7 UPS-urile și mediul de funcționare | N22 |
| | 2.8 Echipamente complementare | N22 |
| **3** | **Protecția transformatoarelor JT/JT** | **N24** |
| | 3.1 Curentul absorbit la conectarea transformatorului | N24 |
| | 3.2 Protecția circuitelor de alimentare a transformatoarelor JT/JT | N24 |
| | 3.3 Caracteristici electrice tipice ale transformatoarelor JT/JT, 50 Hz | N25 |
| | 3.4 Protecția transformatoarelor JT/JT utilizând întreruptoare automate Merlin Gerin | N25 |
| **4** | **Circuite de iluminat** | **N27** |
| | 4.1 Diferite tehnologii de realizare a lămpilor | N27 |
| | 4.2 Caracteristicile electrice ale lămpilor | N29 |
| | 4.3 Limitări și recomandări referitoare la dispozitivele de iluminat | N34 |
| | 4.4 Sisteme de iluminat în spații publice | N40 |
| **5** | **Motoare asincrone** | **N42** |
| | 5.1 Funcțiile necesare unui circuit de motor | N42 |
| | 5.2 Standarde | N44 |
| | 5.3 Aplicații | N45 |
| | 5.4 Puteri nominale maxime ale motoarelor asincrone alimentate la joasă tensiune | N49 |
| | 5.5 Compensarea energiei reactive (corecția factorului de putere) | N49 |

# 1 Protecția generatoarelor de joasă tensiune și a circuitelor din aval

Majoritatea instalațiilor electrice industriale și comerciale de mari dimensiuni includ anumiți consumatori a căror alimentare cu energie electrică trebuie menținută în eventualitatea unei întreruperi a alimentării de la rețeaua furnizorului din cauză că:
- sunt implicate sisteme de securitate (iluminat de urgență, dispozitive de protecție contra incendiilor, ventilatoare de fum, alarme și semnalizări, etc.);
- există consumatori prioritari a căror întrerupere în alimentarea cu energie electrică produce pierderi de producție sau chiar distrugerea echipamentului respectiv, etc.

În eventualitatea întreruperii surselor de alimentare normale, unul dintre mijloacele curente de menținere a alimentării așa numiților "consumatori prioritari" este instalarea unui generator, conectat prin intermediul unui inversor de sursă, la tabloul consumatorilor prioritari (vitali), de la care aceștia se alimentează (vezi **Fig. N1**).

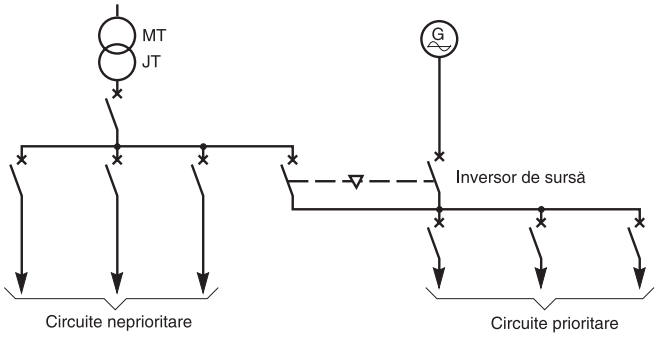



*Fig N1: Exemplu de circuite alimentate de la un transformator sau de la un generator.*

## 1.1 Protecția generatorului

**Figura N2** de mai jos indică principalele mărimi electrice ale unui generator. $P_n$, $U_n$ și $I_n$ reprezintă puterea motorului termic, tensiunea nominală și, respectiv, curentul nominal al generatorului.

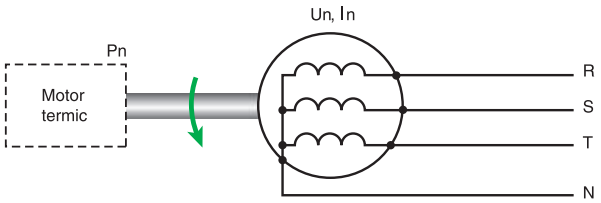



*Fig N2: Diagrama bloc a unui grup-generator.*

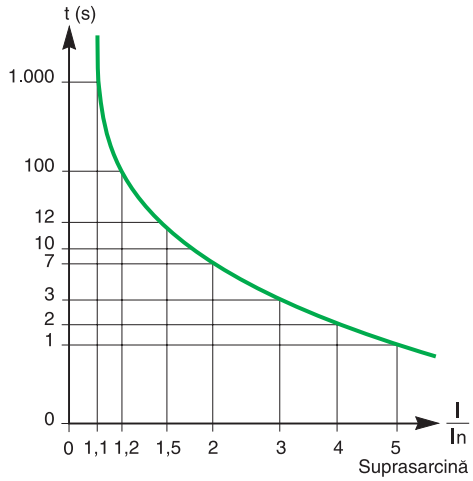



*Fig N3: Exemplu de curbă de suprasarcină t = f(I/In).*

### Protecția la suprasarcină

Trebuie analizată curba de protecție a generatorului (vezi **Fig. N3**).
Standardele și cerințele aplicațiilor pot de asemenea să stipuleze anumite condiții speciale de suprasarcină. De exemplu:

| $I/I_n$ | t |
|---|---|
| 1,1 | > 1 h |
| 1,5 | 30 s |

Posibilitățile de reglaj ale dispozitivelor de protecție la suprasarcină vor respecta aceste cerințe.

**Notă referitoare la suprasarcină**
- Din motive economice motorul termic al unui grup-generator de rezervă va fi dimensionat strict la puterea sa nominală. În eventualitatea unei suprasarcini de putere activă motorul se va opri. La bilanțul de puteri al sarcinilor prioritare trebuie luate în considerare puterile active ale acestora.
- Un grup-generator de producție trebuie să fie capabil să reziste la următoarele suprasarcini:
  - ☐ 1 oră de suprasarcină,
  - ☐ 1 oră suprasarcină de 10% la fiecare 12 ore (Prime Power).

## Protecţia la scurtcircuit

### Calculul curentului de scurtcircuit

Curentul de scurtcircuit este suma dintre:
- curentul aperiodic;
- curentul aproximativ sinusoidal.

Ecuaţia curentului de scurtcircuit arată faptul că aceasta este compusă din trei perioade succesive (vezi **Fig. N4**).

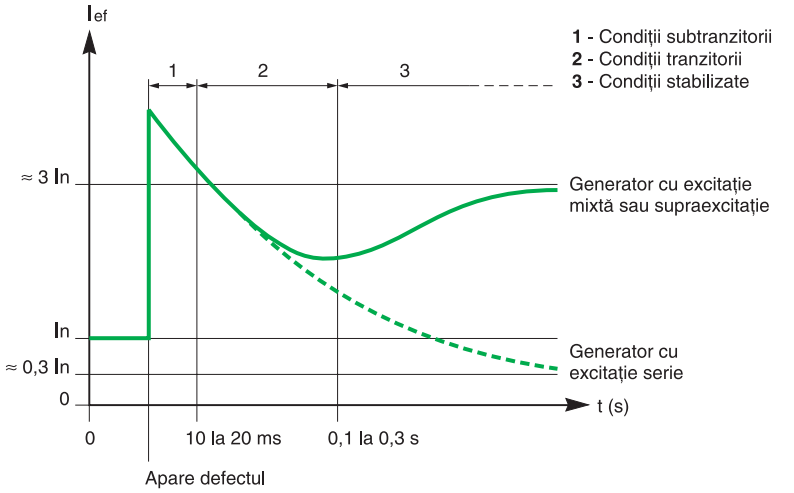



*Fig N4: Nivelele curentului de scurtcircuit în timpul celor trei perioade.*

- Perioada subtranzitorie

La apariţia unui scurtcircuit la bornele unui generator, mai întâi, curentul creşte la o valoare relativ mare, de cca. 6 - 12 $I_n$, în timpul primului ciclu (0 - 20 ms).
Amplitudinea acestui curent de scurtcircuit iniţial este caracterizată prin trei parametri:
- ☐ reactanţa subtranzitorie a generatorului,
- ☐ nivelul de excitaţie al generatorului la momentul producerii defectului şi
- ☐ impedanţa circuitului unde s-a produs defectul.

Impedanţa de scurtcircuit a generatorului de luat în considerare este, de fapt, reactanţa subtranzitorie, exprimată în % şi este furnizată de producător, X"d. Valorile tipice sunt de la 10 la 15%.
Impedanţa subtranzitorie a generatorului se calculează cu relaţia:

$$X"d(ohmi) = \frac{U_n^2 x"d}{100\ S} \quad \text{unde } S = \sqrt{3}\ Un\ In$$

- Perioada tranzitorie

Perioada tranzitorie se plasează între 100 şi 500 ms de la momentul producerii defectului. Pornind de la valoarea curentului de defect al perioadei subtranzitorii, curentul scade până la cca. 1.5 - 2 $I_n$.
Impedanţa de scurtcircuit de luat în considerare pentru această perioadă este reactanţa tranzitorie, exprimată în % şi este, de asemenea, dată de producător, X'd. Valorile tipice sunt între 20 şi 30%.

- Perioada de stabilitate

Perioada de stabilitate se plasează după 500 ms de la momentul producerii defectului.
Dacă defectul persistă tensiunea produsă de generator scade, însă regulatorul de excitaţie caută să determine revenirea acesteia la valoarea iniţială. Rezultatul este stabilizarea curentului de scurtcircuit:
- ☐ dacă excitaţia generatorului nu creşte în timpul scurtcircuitului (nu există supraexcitaţie), dar este menţinută la nivelul dinainte de momentul apariţiei defectului, atunci curentul se stabilizează la o valoare dată de reactanţa sincronă $X_d$ a generatorului. Valoarea tipică pentru $X_d$ este mai mare de 200%. În consecinţă, curentul final va fi mai mic decât curentul nominal al generatorului şi anume, în jur de 0,5 $I_n$;
- ☐ dacă generatorul este echipat cu supraexcitaţie sau cu excitaţie mixtă, creşterea tensiunii de excitaţie va determina o creştere a curentului de defect (pentru cca. 10 secunde) la o valoare de cca. 2 - 3 ori curentul nominal al generatorului.

# 1 Protecția generatoarelor de joasă tensiune și a circuitelor din aval

## Calculul curentului de scurtcircuit

În mod normal, producătorii fac publice valorile impedanțelor și constantelor de timp necesare pentru analiza funcționării în perioadele tranzitorii sau permanente (vezi **Tab. N5**).

| (kVA) | 75 | 200 | 400 | 800 | 1.600 | 2.500 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| X"d | 10,5 | 10,4 | 12,9 | 10,5 | 18,8 | 19,1 |
| X'd | 21 | 15,6 | 19,4 | 18 | 33,8 | 30,2 |
| Xd | 280 | 291 | 358 | 280 | 404 | 292 |

*Tab. N5: Exemplu de tabel de impedanțe.*

Rezistențele sunt întotdeauna neglijabile în comparație cu reactanțele. Parametrli pentru calculul curentului de scurtcircuit sunt:

- Valoarea curentului de scurtcircuit la bornele generatorului

Curentul de scurtcircuit de valoare mare, în perioada tranzitorie, este dat de relația:

$$I_{sc3} = \frac{U_n}{X'_d} \frac{1}{\sqrt{3}}$$ ($X'_d$ în ohmi)

sau

$$I_{sc3} = \frac{I_n}{X'_d} 100$$ ($X'_d$ în %)

unde $U_n$ este tensiunea de linie (fază-fază) a generatorului.

**Notă:** Această valoare poate fi comparată cu cea a curentului de scurtcircuit de la bornele unui transformator. Astfel, pentru aceeași putere, curentul de scurtcircuit produs în apropiere de bornele unui generator va fi de 5 - 6 ori mai mic decât cel produs la bornele unui transformator (sursa principală).

Această diferență este mai mult accentuată de faptul că, în general, puterea generatorului este mai mică decât a transformatorului (vezi **Fig. N6)**.

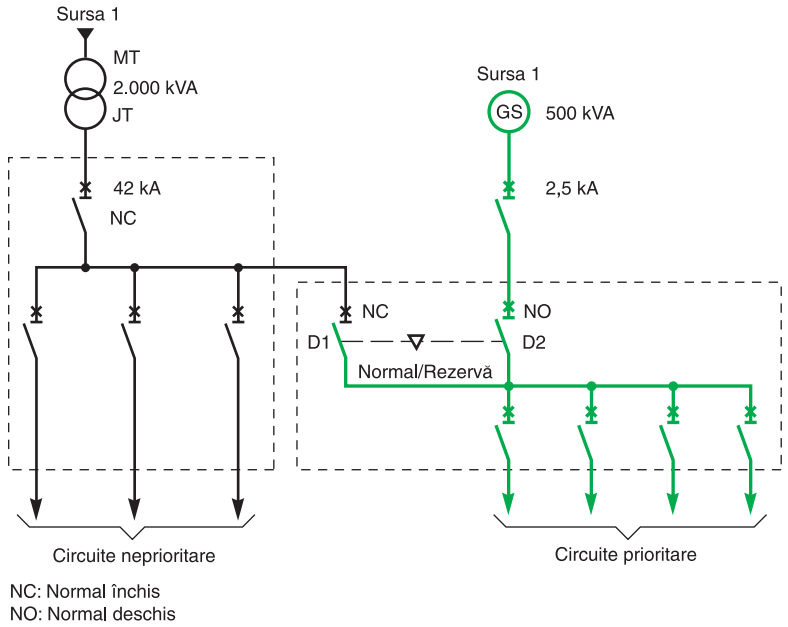



*Fig N6: Exemplu de tablou pentru consumatori prioritari, alimentați (în cazuri de urgență) printr-un generator.*

Atunci când o rețea este alimentată de către o sursă Normală 1 de 2.000 kVA, curentul de scurtcircuit pe barele tabloului principal de JT este de 42 kA. Atunci când rețeaua este alimentată de către o sursă de Rezervă 2 de 500 kVA cu reactanța tranzitorie de 30%, curentul de scurtcircuit va avea valoarea de aproximativ 2,5 kA, adică de 16 ori mai mică decât cea în cazul sursei principale.

## 1.2 Protecţia reţelei de joasă tensiune din aval

### Protecţia circuitelor prioritare

**Alegerea capacităţii de rupere a întreruptoarelor automate**
Aceasta trebuie totdeauna corelată cu de caracteristicile sursei normale (transformatorul MT/JT).

**Alegerea şi reglajele declanşatoarelor la scurtcircuit temporizate**
■ Tablourile secundare
Valorile nominale ale dispozitivelor de protecţie alimentate din tablourile de distribuţie secundare şi finale sunt întotdeauna mai mici decât curentul nominal al generatorului. În consecinţă, cu excepţia unor cazuri speciale, condiţiile sunt similare alimentării prin transformator.
■ Tabloul general de distribuţie
Dimensionarea dispozitivului principal de protecţie se face, în mod normal, similar cu cel al generatorului. Reglajul declanşării protecţiei trebuie să se realizeze în conformitate cu caracteristicile generatorului (a se vedea secţiunea “Protecţia la scurtcircuit”).
Selectivitatea dispozitivelor de protecţie a consumatorilor prioritari cu protecţia de pe generator trebuie să se facă prin reglaje ale acesteia din urmă (poate fi chiar obligatorie pentru surse de alimentare de siguranţă). Este necesar, de asemenea, să se verifice reglarea corectă a pragului de declanşare a dispozitivelor de protecţie a sursei principale cu cel al dispozitivelor de protecţie din aval (reglate în mod normal la $10\,I_n$).
**Notă:** Când se alimentează de la generator, utilizarea unei protecţii împotriva curentului rezidual de mică sensibilitate permite monitorizarea izolaţiei şi asigură, foarte uşor, selectivitatea.

### Protecţia utilizatorilor

În cazul sistemelor de legare la pământ IT (al doilea defect) şi TN, protecţia oamenilor împotriva contactelor indirecte, este asigurată prin protecţia la scurtcircuit temporizată a întreruptoarelor automate. Funcţionarea lor trebuie asigurată atât în cazul în care instalaţia este alimentată de către sursa normală (transformator), cât şi dacă este alimentată prin sursa de rezervă (generator).

**Calculul curentului de defect de izolaţie**
Reactanţa homopolară este menţionată de către producator ca fiind % din $U_0$, $X'_0$. Valoarea tipică este 8%.
Curentul de scurtcircuit monofazat fază-neutru este dat de de relaţia:

$$If = \frac{Un\sqrt{3}}{2\,X'd + X'o}$$

Curentul de defect de izolaţie în sistemele TN este uşor superior curentului de scurtcircuit trifazat. De exemplu, în eventualitatea unui defect de izolaţie în instalaţia din exemplul anterior, curentul de defect de izolaţie este 3 kA.

## 1.3 Funcţii de monitorizare

Datorită caracteristicilor specifice ale generatorului şi ale variaţiilor lor, parametrii corespunzători de funcţionare ai acestuia trebuie să fie monitorizaţi, mai ales în cazul unor sarcini speciale.
Comportarea generatorului este diferită faţă de cea a unui transformator:
■ puterea activă este optimizată pentru un factor de putere = 0,8;
■ la mai puţin de 0,8 factor de putere, prin creşterea excitaţiei, generatorul poate genera putere reactivă.

### Bateria de condensatoare

Un generator în gol conectat la o baterie de condensatoare se poate autoexcita, aceasta conducând la o supratensiune.
Bateria de condensatoare instalată pentru corecţia factorului de putere trebuie, prin urmare, deconectată. Aceasta se poate realiza printr-un semnal trimis regulatorului varmetric (dacă acesta este conectat la sistemul care urmăreşte sarcina generatorului), sau direct prin deschiderea întreruptorului automat prin care se alimentează bateria de condensatoare.
Dacă bateria este, însă, în continuare necesară nu se va utiliza regulatorul pentru corecţia factorului de putere în acest caz (reglaj incorect şi prea încet).

### Repornirea motorului şi reaccelerarea

Generatorul poate furniza un curent între 3 - 5 ori curentul său nominal numai în perioada tranzitorie.
Motorul absoarbe aproximativ $6\,I_n$ pe perioada de pornire (2 - 20 s).

# 1 Protecția generatoarelor de joasă tensiune și a circuitelor din aval

În cazul unor sarcini tip motor, dacă $\Sigma P_{motor}$ este mare, pornirea simultană a acestora generează un vârf de curent de valoare foarte mare, care poate determina căderi mari de tensiune datorită valorilor mari ale reactanțelor tranzitorii și subtranzitorii ale generatorului (20 la 30%), cu riscuri în ceea ce privește:
- nepornirea motoarelor;
- creșterea de temperatură datorată prelungirii perioadei de pornire a motoarelor motivate de căderea de tensiune;
- declanșarea dispozitivelor de protecție termică.

Mai mult, rețeaua și dispozitivele de comandă sunt afectate de căderea de tensiune.

**Aplicație (**vezi **Fig. N7)**
Un generator alimentează mai multe motoare.
Caracteristicile la scurtcircuit al generatorului sunt: $P_n$ = 130 kVA, la un factor de putere de 0,8 și $I_n$ = 150 A.
$X'_d$ = 20% (de exemplu), prin urmare, $I_{sc}$ = 750 A.
- $\Sigma P_{motoare}$ este 45 kW (45% din puterea generatorului).

Calculul căderii de tensiune la pornirea simultană a motoarelor:
$\Sigma P_{motor}$ = 45 kW, $I_m$ = 81 A, deci un curentul de pornire $I_d$ = 480 A pe perioada de la 2 la 20 s.
Căderea de tensiune pe bară în cazul pornirii simultane a motoarelor este:

$$\frac{\Delta U}{U} = \left( \frac{Id - In}{Isc - In} \right) \text{ (în \%)}$$

$\Delta U$ = 55%, ceea ce nu este suportabil pentru motoare (eșec la pornire).
- $\Sigma P_{motoare}$ este 20 kW (20 % din puterea generatorului).

Calculul căderii de tensiune la pornire:
$\Sigma P_{motor}$ = 20 kW, $I_m$ = 35 A, deci un curent de pornire $I_d$ = 210 A pe perioada de la 2 la 20 s.
Căderea de tensiune pe bare va fi:

$$\frac{\Delta U}{U} = \left( \frac{Id - In}{Isc - In} \right) \text{ (în \%)}$$

$\Delta U$ = 10%, ceea ce este mult (depinde de tipul de sarcină), dar totuși este suportabil.

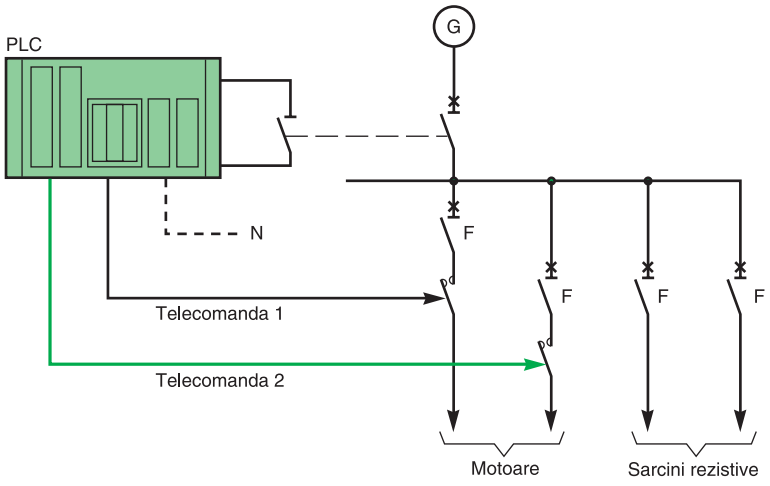



*Fig N7: Repornirea motoarelor prioritare ($\Sigma P > 1/3\ P_n$).*

**Soluții de repornire**
- Dacă $P_{max}$ a celui mai mare motor > $\frac{1}{3}$Pn , pe acesta trebuie instalat un dispozitiv de ameliorare a pornirii;
- Dacă $\Sigma P_{motoare}$ > $\frac{1}{3}$Pn , repornirea acestora trebuie să se facă în cascadă, comandată de un PLC
- Dacă $\Sigma P_{motoare}$ < $\frac{1}{3}$Pn , nu sunt probleme la repornire.

## Sarcini neliniare - Exemplul unui UPS

**Sarcini neliniare**

În principal, acestea sunt:

- circuite magnetice saturate;
- lămpi cu descărcare, lămpi fluorescente;
- convertizoare electronice;
- sisteme de calcul: PC, calculatoare, etc.

Aceste sarcini generează curenți armonici: alimentate de către un generator aceastea pot genera distorsiuni mari de tensiune datorită puterii de scurtcircuit scăzute a generatorului.

**Surse neîntreruptibile de putere (UPS) (**vezi **Fig. N8)**

Combinația dintre un UPS și un generator este cea mai bună soluție pentru asigurarea unei bune calități a energiei electrice, cu o lungă autonomie, ce poate fi utilizată pentru alimentarea sarcinilor sensibile.

De asemenea, redresorul reprezintă o sarcină neliniară. La dispariția sursei normale autonomia UPS-ului pe baterii trebuie să acopere timpul necesar pentru pornirea și conectarea generatorului.

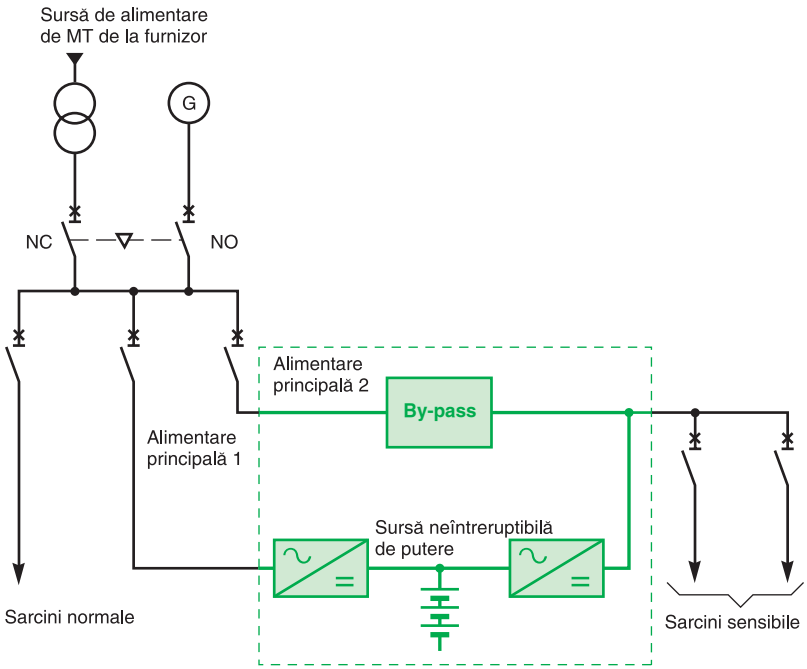



***Fig N8:*** *Grup Generator combinat cu UPS pentru asigurarea calității energiei electrice.*

**Puterea UPS-ului**

Puterea UPS-ului trebuie să fie corespunzătoare:

- puterii nominale a sarcinilor din aval. Aceasta este suma puterilor aparente $P_a$ absorbite de către fiecare circuit. Mai mult, pentru a nu supradimensiona instalația, trebuie luată în considerare capacitatea de suprasarcină a UPS-ului (de ex.: 1,5 $I_n$ pentru 1 minut și 1,25 $I_n$ pentru 10 minute);
- puterii cerute pentru reîncărcarea bateriilor. Acest curent este proporțional cu autonomia cerută pentru o putere dată. Valoarea $S_r$ a UPS-ului este dată de relația: $S_r = 1,17 \times P_n$.

**Tabelul N9** definește curenții de declanșare și dispozitivele de protecție pentru alimentarea redresorului (Alimentarea 1) și a alimentării de rezervă (Alimentarea 2).

# 1 Protecția generatoarelor de joasă tensiune și a circuitelor din aval

| Puterea nominală $P_n$ (kVA) | Valoarea curentului (A) Alimentarea 1 cu baterii trifazate la 400 V - $I_1$ | Alimentarea 2 trifazată la 400 V - $I_u$ |
|---|---|---|
| 40 | 86 | 60,5 |
| 60 | 123 | 91 |
| 80 | 158 | 121 |
| 100 | 198 | 151 |
| 120 | 240 | 182 |
| 160 | 317 | 243 |
| 200 | 395 | 304 |
| 250 | 493 | 360 |
| 300 | 590 | 456 |
| 400 | 793 | 608 |
| 500 | 990 | 760 |
| 600 | 1.180 | 912 |
| 800 | 1.648 | 1.215 |

***Tab. N9:*** *Curenții de declanșare ale dispozitivelor de protecție pentru alimentarea principală (redresor) și pentru alimentarea de rezervă.*

## Combinația Grup generator/UPS

■ Repornirea redresorului alimentat din generator

Redresorul UPS-ului poate fi echipat cu un sistem de începere progresivă a încărcării pentru a împiedica apariția unor curenți de declanșare nedoriți atunci când instalația comută pe generator (vezi **Fig. N10**).

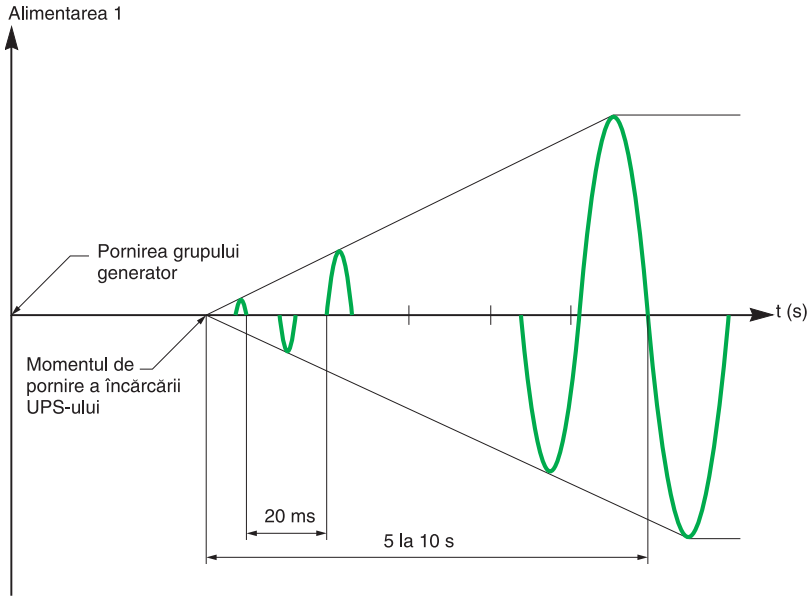



***Fig N10:*** *Pornirea progresivă a încărcării redresorului UPS-ului.*

■ Armonicile și distorsiunea tensiunii

Distorsiunea de tensiune totală $\tau$ se definește prin relația:

$$\tau(\%) = \frac{\sqrt{\Sigma U_h^2}}{U_1}$$

unde $U_h$ este armonica de tensiune de ordin h.

Această valoare depinde de:

☐ curenții armonici generați de redresor (proporționali cu puterea $S_r$ a redresorului),

☐ reactanța subtranzitorie longitudinală $X''_d$ a generatorului,

☐ puterea $S_g$ a generatorului.

Se definește $U'Rcc(\%) = X''d\frac{Sr}{Sg}$, tensiunea relativă de scurtcircuit a generatorului, adusă spre a fi redresată, adică, $\tau = f(U'R_{cc})$.

**Nota 1:** Întrucât reactanța subtranzitorie este mare, distorsiunea armonică este prea mare în comparație cu valoarea admisibilă (7 - 8%) pentru motive economice ținând de alegerea generatorului: utilizarea unui filtru adecvat reprezintă o soluție optimă și eficientă din punct de vedere al costurilor.
**Nota 2:** Distorsiunea armonică nu are efecte negative asupra redresorului dar poate avea astfel de efecte asupra altor sarcini alimentate, în paralel cu redresorul.

**Aplicație**
Pentru determinarea distorsiunii $\tau$ de tensiune în funcție de $U'R_{cc}$ este utilizată următoarea reprezentare grafică (vezi **Fig. N11**).

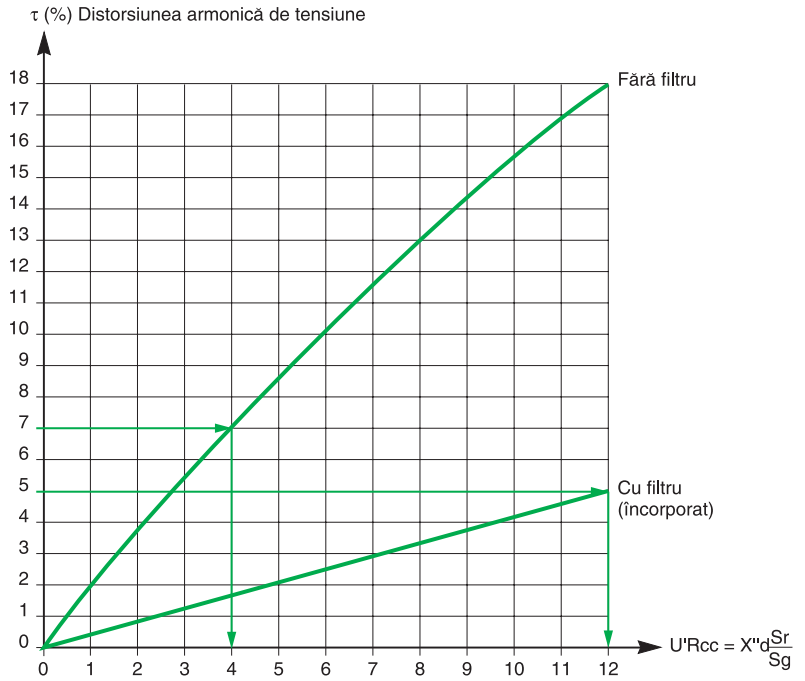



***Fig N11:*** *Grafic pentru calculul distorsiunii armonice.*

Graficul indică:
- $\tau$ ca o funcție de $U'R_{cc}$, sau
- $U'R_{cc}$ ca o funcție de $\tau$

de la care se va determina puterea $S_g$ a generatorului.

**Exemplu: Alegerea generatorului**
- UPS 300 kVA fără filtru, reactanța subtranzitorie de 15%.

Puterea $S_r$ a redresorului este $S_r$ = 1,17 x 300 kVA = 351 kVA
Pentru $\tau$ =7 %, graficul dă $U'R_{cc}$ = 4%, puterea $S_g$ este:

$$Sg = 351 \times \frac{15}{4} \approx 1.400 \text{ kVA}$$

- UPS 300 kVA cu filtru, reactanța subtranzitorie de 15%.

Pentru $\tau$ < 5 %, graficul dă $U'R_{cc}$ = 12%, puterea $S_g$ este:

$$Sg = 351 \times \frac{15}{12} \approx 500 \text{ kVA}$$

**Notă:** Cu un tranformator în amonte de 630 kVA și cu un UPS fără filtre de 300 kVA, se poate obține un raport de 5%.
Rezultatul indică faptul ca funcționarea unui generator trebuie continuu monitorizată din punct de vedere al curenților armonici.
Dacă distorsiunea armonică de tensiune este prea mare, utilizarea unui filtru de rețea este cea mai bună soluție de utilizat pentru a o aduce în limite care pot fi tolerate de sarcinile sensibile.

# 1 Protecția generatoarelor de joasă tensiune și a circuitelor din aval

## 1.4 Conectarea în paralel a generatoarelor

Indiferent de tipul de aplicație (surse de siguranță, surse alternative sau surse de producție) conectarea generatoarelor în paralel impune un management fin al conectării, și anume, funcții de monitorizare.

### Punerea în paralel

Întrucât generatoarele produc energie, în paralel, pe aceeași sarcină, ele trebuie să fie corect sincronizate (tensiune, frecvență) iar distribuția sarcinii trebuie să fie adecvat echilibrată. Această funcție este îndeplinită de regulatorul fiecărui generator (regulator termic și de excitație). Parametrii (tensiune, frecvență) sunt monitorizați înainte de conectare; dacă valorile acestor parametrii sunt corecte, conectarea în paralel poate avea loc.

**Defectele de izolație (**vezi **Fig. N12)**
Un defect de izolație produs în carcasa metalică a unui generator poate crea serioase probleme acestuia mai ales dacă reprezintă un scurtcircuit monofazat fază-neutru. Defectul trebuie detectat și eliminat rapid, altfel, celelalte generatoare pot alimenta defectul cu energie, iar protecțiile lor vor declanșa la suprasarcină: continuitatea alimentării cu energie electrică a instalației nu mai este asigurată.
Protecția împotriva defectelor de punere la pământ (GFP) din interiorul generatorului este utilizată pentru:
- deconectarea rapidă a defectelor la generator în scopul păstrării continuității în alimentarea cu energie electrică;
- a nu funcționa în cazul defectării circuitelor de control ale generatorului, în sensul de a-l opri din funcționare și de a limita daunele.

Protecția împotriva defectelor de punere la pământ (GFP) este de tip “reziduală” și trebuie să fie instalată cât mai aproape posibil de dispozitivul de protecție în sistemele TN-C/TN-S(1) al fiecărui generator, cu conectarea carcasei la conductorul de protecție separat PE. Acest tip de protecție este uzual numit “defect restrictiv de punere la pământ”.

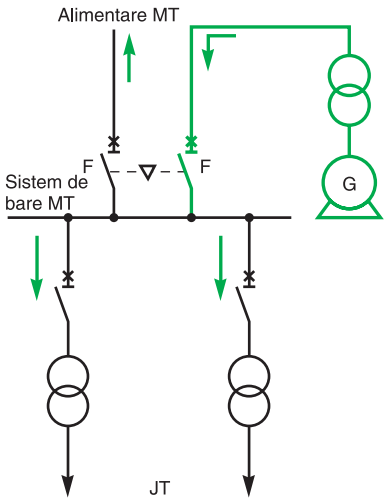



*Fig N13: Direcția transferului de energie: Grupul generator ca un generator.*

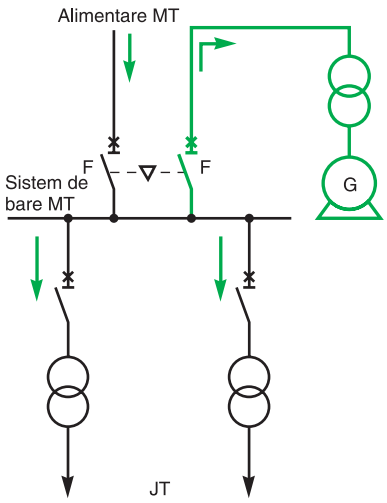



*Fig N14: Direcția tranferului de energie: grupul generator ca sarcină.*

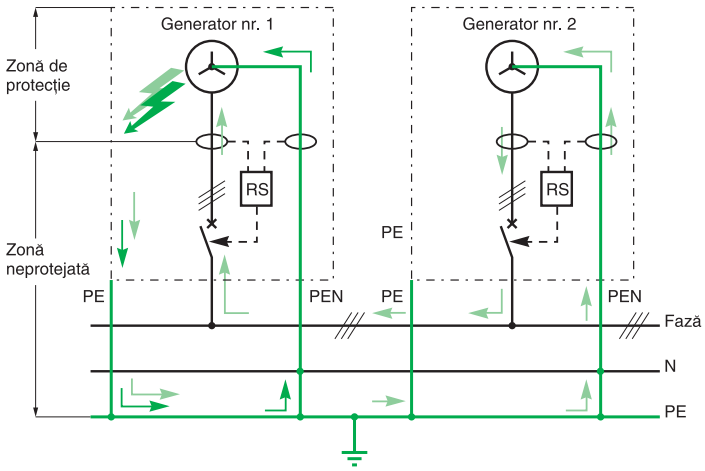



*Fig N12: Defectul de izolație în interiorul unui generator.*

**Defectele grupurilor generatoare ca sarcină (**vezi **Fig. N13** și **N14 )**
Unul din grupurile generatoare conectate în paralel poate să nu mai funcționeze ca generator ci ca un motor (datorită pierderii excitației, de exemplu). Aceasta poate produce suprasarcină asupra celorlalte grupuri generatoare și deci, să conducă la întreruperea alimentării cu energie electrică a instalației.
Pentru a verifica că grupul generator furnizează energie electrică instalației (deci functionează ca generator), este necesar să se verifice direcția de circulație a fluxului energiei electrice către sistemul de bare, utilizând verificarea “puterii inverse”. Dacă se produce un defect, de exemplu, un grup generator funcționează ca motor, această funcție va elimina grupul generator defect.

### Legarea la pământ a grupurilor generatoare conectate în paralel

Legarea la pământ a grupurilor generatoare conectate în paralel poate conduce la o circulație de curenți de defect (armonica de ordinul 3 și armonicile multiplu de 3) prin conectarea bornelor lor de neutru la o priză de pământ comună (sistemele TN sau TT). În consecință, pentru a împiedica circulația acestor curenți între grupurile generatoare se recomandă instalarea unei rezistențe de decuplare pe circuitul de conectare la pământ.

***(1)** În cazul sistemelor TN-C, grupul generator este privit ca “un generator”, iar în cazul sistemului TN-S, ca o “sarcină“.*

## 2.1 Disponibilitatea și calitatea energiei electrice

Perturbațiile prezentate mai sus pot afecta:
- siguranța oamenilor;
- siguranța bunurilor;
- viabilitatea economică a unei companii sau a unui proces de producție.

Perturbațiile trebuie prin urmare eliminate.
În acest scop există soluții tehnice cu un grad diferit de eficiență. Aceste soluții pot fi comparate pe baza a două criterii:
- disponibilitatea puterii furnizate;
- calitatea energiei furnizate.

Disponibilitatea puterii furnizate poate fi apreciată ca timpul dintr-un an când această putere a fost prezentă la bornele sarcinii. Disponibilitatea este afectată, în principal, de întreruperi în alimentare datorate nefuncționării furnizorului de putere sau datorită defectelor electrice.

Există un număr de soluții pentru limitarea riscurilor:
- divizarea instalației astfel încât să se utilizeze mai multe surse de energie în loc de una;
- subdivizarea instalației în circuite prioritare și neprioritare, acolo unde alimentarea circuitelor prioritare se poate face, la nevoie, din altă sursă disponibilă;
- sacrificarea, la nevoie, a unor consumatori astfel încât să poată fi utilizată o putere mai mică pentru alimentarea de rezervă;
- alegerea unui sistem de tratare a neutrului adecvat pentru a îmbunătăți continuitatea alimentării cu energie electrică, de exemplu sistemul IT;
- selectivitatea dispozitivelor de protecție (declanșarea selectivă) pentru a limita consecințele unui defect produs într-o parte a instalației.

De menționat că, singura modalitate de a asigura disponibilitatea puterii în perioadele de nefuncționare a sursei principale de alimentare este existența, în afara măsurilor amintite mai sus, a unei surse alternative autonome, măcar pentru circuitele prioritare (vezi **Fig. N15**).

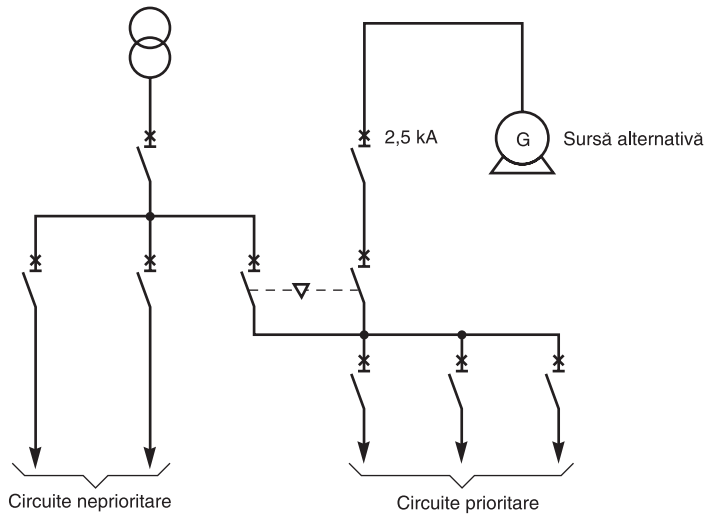



***Fig. N15:*** *Disponibilitatea energiei electrice.*

În eventualitatea apariției unor probleme în rețeaua principală această sursă alternativă preia sarcina sursei principale dar trebuie avuți în vedere doi factori:
- timpul de transfer (timpul necesar preluării sarcinii de către sursa alternativă) care trebuie să fie acceptat de către receptori;
- durata de timp cât această sursă alternativă poate alimenta receptorii.

Calitatea energiei electrice este determinată de eliminarea perturbațiilor prezentate anterior, de la bornele sarcinii.
O sursă alternativă este o soluție pentru asigurarea disponibilității energiei la bornele sarcinii însă, în multe cazuri, aceasta nu garantează calitatea energiei livrate, cu referire la perturbațiile de mai sus.

# 2 Surse neîntreruptibile (UPS)

În zilele noastre, multe aplicații electronice sensibile necesită o alimentare cu energie electrică fără astfel de perturbații, nemaivorbind de întreruperi, cu toleranțe stricte, mai mici decât cele ale furnizorului de electricitate.
Acesta este, de exemplu, cazul rețelelor de calculatoare (Data-center), al centralelor telefonice și al multor procese industriale de comandă și monitorizare.
Aceste aplicații necesită soluții care să asigure în același timp disponibilitate și calitate pentru energia electrică furnizată.

### Soluția cu UPS

Soluția pentru aplicațiile sensibile este utilizarea unei interfețe între sursa de alimentare și sarcinile sensibile, astfel încât, tensiunea furnizată:
- să nu prezinte perturbații existente, în mod normal, la sursa de energie și să fie în conformitate cu toleranțele stricte impuse de sarcini;
- să fie disponibilă în eventualitatea unei întreruperi a alimentării cu energie electrică provenită de la sursa principală, în toleranțele specificate.

UPS-urile (surse neîntreruptibile de energie) satisfac aceste cerințe în ceea ce privește disponibilitatea și calitatea energiei, deoarece:
- alimentează sarcinile cu valori de tensiune care corespund strict cu toleranțele impuse, prin utilizarea unui invertor;
- furnizează în mod autonom energie electrică, prin utilizarea bateriilor;
- înlocuiesc sursa principală de energie electrică cu timp de transfer zero, fără nici o întrerupere în alimentarea sarcinii, prin utilizarea unui întreruptor cu comutare statică.

Aceste caracteristici fac din UPS-uri sursa ideală de alimentare a aplicațiilor sensibile deoarece acestea asigură disponibilitatea și calitatea energiei electrice de alimentare indiferent de starea sursei principale.
Un UPS este alcătuit din următoarele componente principale:
- redresorul/încărcător, care produce energie de curent continuu pentru încărcarea bateriilor și alimentarea invertorului;
- invertorul care produce energie electrică de calitate, adică:
  - ☐ fără perturbațiile prezente în cazul sursei de alimentare principale, adică, micro-întreruperi,
  - ☐ cu toleranțe compatibile cu cerințele dispozitivelor electronice sensibile (de ex: pentru gama Galaxy, toleranțele în amplitudine ±0,5% și frecvență ±1%, comparativ cu ±10 %, respectiv ± 5% în cazul sursei principale, ceea ce reprezintă factori de îmbunătățire de 20, respectiv 5);
- bateriile de acumulatori, care furnizează un timp de salvare (de la 8 minute la 1 oră sau mai mult) pentru a asigura protecția oamenilor și a bunurilor prin înlocuirea sursei principale în caz de nevoie.
- comutatorul static, un dispozitiv bazat pe semiconductoare care transferă sarcina de la invertor la sursa principală și înapoi fără nici o întrerupere în alimentarea cu energie.

## 2.2 Tipuri de UPS-uri statice

Tipurile de UPS-uri statice sunt definite de standardul CEI 62040.
Standardul consideră trei moduri de funcționare:
- standby pasiv (sau “off-line”);
- în operare interactivă;
- dublă conversie (sau “on-line”).

Aceste definiții se referă la funcționarea UPS-urilor cu referire la sursa de alimentare, inclusiv sistemul de distribuție din amonte de UPS-uri.
Standardul CEI 62040 definește următorii termeni:
- putere primară: puterea în mod normal continuu disponibilă care este uzual furnizată de compania de electricitate sau uneori de către generatorul propriu al utilizatorului;
- puterea de standby: puterea care urmează să înlocuiască puterea primară în eventualitatea unei căderi a sursei principale;
- puterea de bypass: puterea furnizată pe calea de ocolire (bypass).

Practic vorbind, un UPS este echipat cu două intrări de curent alternativ care, în acest manual se numesc intrarea normală c.a. și intrarea de bypass c.a.
- intrarea normală c.a., menționată ca intrarea 1, este alimentată de la sursa primară, adică printr-un cablu conectat la sursa din sistemul de alimentare al furnizorului sau din sistemul de distribuție privat;
- intrarea de bypass c.a., menționată ca intrarea 2, este în general alimentată din sursa de rezervă, adică printr-un cablu conectat la o sursă de alimentare din amonte alta decât cea care alimentează intrarea normală c.a., în fapt, o sursă alternativă (de exemplu un grup generator sau alt UPS, etc.).

Când puterea de standby nu este disponibilă, intrarea de bypass c.a. este alimentată cu putere primară (al doilea cablu paralel cu cel conectat pentru alimentarea sursei normale).
Intrarea de bypass c.a. este utilizată să alimenteze linia de bypass ale UPS-ului, dacă acestea există. În consecință linia de bypass este alimentată cu putere primară sau de standby în funcție de disponibilitatea unei surse de putere de standby.

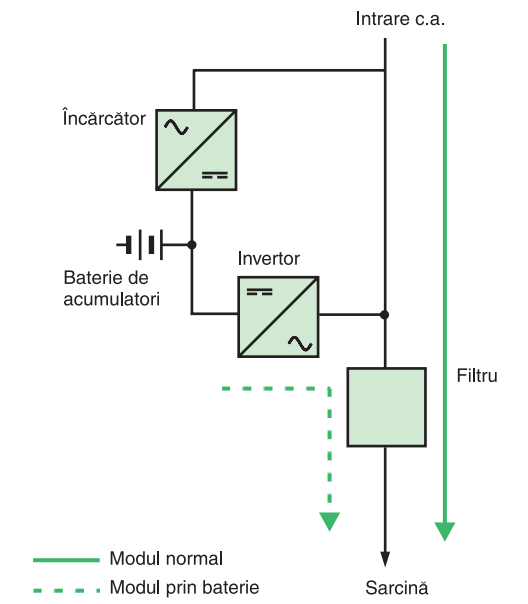



*Fig. N16: Funcționarea UPS-ului în modul standby pasiv.*

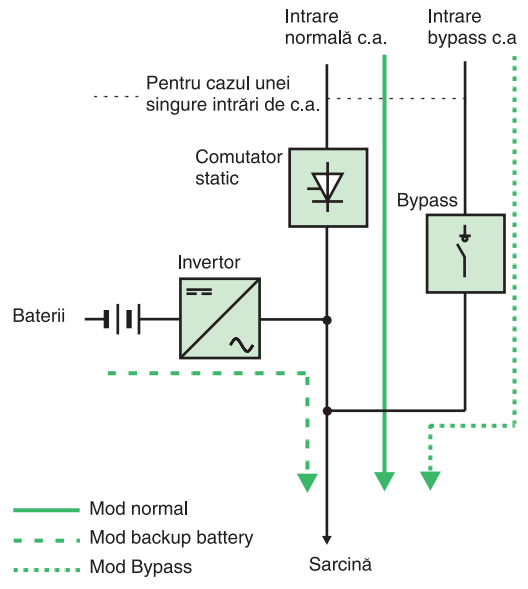



*Fig. N17: Funcționarea UPS-ului în modul operare interactivă.*

## Funcționarea UPS în modul standby pasiv (off-line)

**Principiul de funcționare**

Invertorul este conectat în paralel cu intrarea c.a. în standby (vezi **Fig. N16**).

■ Modul normal

Sarcina este alimentată de la sursa principală printr-un filtru care elimină anumite perturbații și asigură un anumit grad de reglare a tensiunii (standardele vorbesc despre "dispozitive adiționale pentru a asigura reglarea puterii"). Invertorul funcționează în modul standby pasiv.

■ Modul alimentare pe baterii

Atunci când valorile tensiunii alternative de intrare sunt în afara toleranțelor specificate de către UPS sau la căderea sursei principale de alimentare, invertorul și bateriile de acumulatori intervin pentru a se asigura continuitatea alimentării cu energie electrică a sarcinii într-un timp de transfer foarte scurt (< 10 ms).
UPS-ul continuă să funcționeze pe baterii până la completa descărcare a bateriilor sau până când sursa principală revine la normal, ceea ce provoacă trecerea sarcinii înapoi pe intrarea normală de c.a. (modul normal).

**Utilizare**

Această configurație este, de fapt, un compromis între un nivel acceptabil de protecție împotriva perturbațiilor și costuri. Poate fi utilizată doar pentru puteri mici (< 2 kVA) și funcționează fără un transfer static real, astfel încât, pentru transferul sarcinii pe invertor, este necesar un anumit timp. Acest timp este acceptabil pentru anumite aplicații, însă este incompatibil cu performanțele impuse de sistemele mai sofisticate și mai sensibile (ex. centre de date, centrale telefonice, etc.).
Mai mult, frecvența nu este reglată și nu există bypass.

**Notă:** În modul normal, energia sursei principale care alimentează sarcina nu circulă prin invertor, de aceea, acest tip de UPS se mai numește și "off-line". Acest termen induce totuși în eroare deoarece, de asemenea, sugerează "nealimentat de la sursa principală", când, de fapt, în cazul funcționării normale, sarcina este alimentată de la sursa principală via intrarea c.a. De aceea, standardul CEI 62040 recomandă utilizarea termenului de "standby pasiv".

## Funcționarea UPS-ului în modul line-interactiv (op. interactivă)

**Principiul de funcționare**

Invertorul este conectat în paralel cu intrarea de c.a. într-o configurație de standby, dar încarcă, de asemenea, bateriile. El interacționează (în mod reversibil) cu intrarea de c.a. a sursei (vezi **Fig. N17**).

■ Modul normal

Sarcina este alimentată cu putere via o conexiune paralelă a intrării de c.a. cu cea a invertorului. Invertorul funcționează în sensul îmbunătățirii calității tensiunii livrate sarcinii și/sau pentru a încărca bateriile. Frecvența tensiunii de ieșire depinde de frecvența intrării de c.a.

■ Modul alimentare pe baterii

Atunci când valorile tensiunii alternative de ieșire sunt în afara toleranțelor specificate de către UPS sau la căderea sursei principale de alimentare, invertorul și bateriile intervin pentru a se asigura continuitatea alimentării cu energie electrică a sarcinii, în urma unui transfer fără întrerupere, utilizând un întreruptor static de transfer, care deconectează, de asemenea, intrarea de c.a pentru a împiedica circulația puterii de la invertor spre amonte. UPS-ul continuă să funcționeze pe baterii până la completa descărcarea a acestora sau până când sursa principală revine la normal, ceea ce provoacă trecerea sarcinii înapoi pe intrarea normală de c.a. (modul normal).

■ Modul bypass

Acest tip de UPS poate fi echipat cu un bypass. Dacă una dintre funcțiile UPS-ului dispare, sarcina poate fi transferată către intrarea de bypass (alimentată de la sursa principală sau de la sursa de standby, în funcție de instalație).

**Utilizare**

Această configurație nu este adecvată alimentării sarcinilor sensibile în cazul puterilor mari deoarece reglajul frecvenței nu este posibil. Din acest motiv, este rar utilizată și doar pentru puteri mici.

## Funcționarea UPS în modul dublă conversie (on-line)

**Principiul de funcționare**

Invertorul este conectat în serie între intrarea de c.a și aplicație.

■ Modul normal

În timpul funcționării în modul normal, întreaga energie furnizată sarcinii trece prin redresorul/încărcător și invertor, care realizează, împreună o dublă conversie (c.a.-c.c-c.a.), de aici și numele.

■ Modul alimentare pe baterii

Atunci când valorile tensiunii alternative de ieșire sunt în afara toleranțelor specificate de către UPS sau la căderea sursei principale de alimentare, invertorul și bateriile intervin pentru a se asigura continuitatea alimentării cu energie electrică a sarcinii, în urma unui transfer fără întrerupere, utilizând un întreruptor static de transfer. UPS-ul continuă să funcționeze pe baterii până la completa descărcare sau până când sursa principală revine la normal, ceea ce provoacă trecerea sarcinii înapoi pe intrarea normală de c.a. (modul normal).

# 2 Surse neîntreruptibile (UPS)

■ Modul bypass

Acest tip de UPS este în general echipat cu un bypass static, iar uneori și cu un întreruptor static (vezi **Fig. N18**).

Sarcina poate fi transferată fără întreruperea alimentării, pe intrarea de bypass (alimentată de la sursa principală sau de la sursa de standby, în funcție de instalație), în următoarele cazuri:

☐ căderea UPS-ului;

☐ curenți de sarcină tranzitorii (șocuri de curent sau curenți de defect);

☐ vârfuri de curent ale sarcinii.

Totuși, prezența bypass-ului presupune faptul că frecvențele de intrare și de ieșire sunt identice iar dacă nivelele de tensiune nu sunt egale, se impune un transformator pe bypass.

Pentru anumite sarcini, UPS-urile trebuie să fie sincronizate cu puterea de pe intrarea de bypass pentru a se asigura continuitatea alimentării cu energie electrică a sarcinii. Mai mult, atunci când UPS-ul este în modul bypass, o perturbație pe intrarea de c.a. a sursei principale se poate transmite direct sarcinii deoarece invertorul nu este implicat în circuit.

**Notă:** O altă linie de bypass, deseori numită linie de bypass de întreținere este disponibilă în scopuri de întreținere. Poate fi acționată printr-un întreruptor manual.

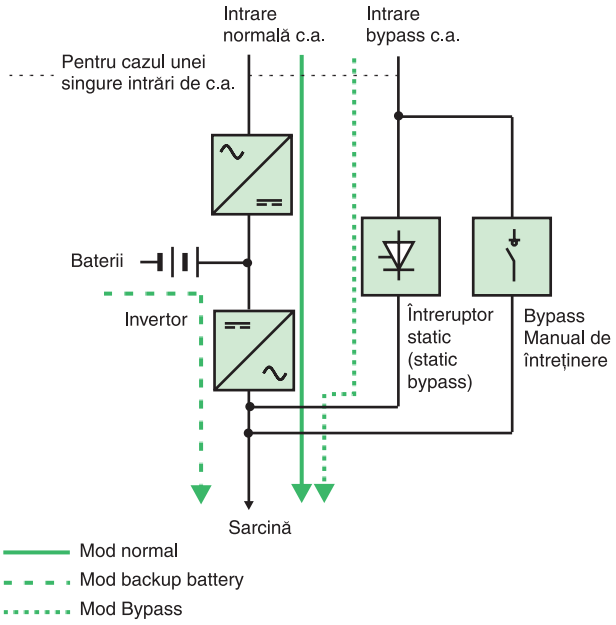



*Fig. N18: Funcționarea UPS-ului în modul dublă conversie.*

**Utilizare**

În această configurație timpul necesar de transfer al sarcinii către invertor este neglijabil datorită dispozitivului întreruptorului static.

De asemenea, frecvența și tensiunea de la ieșire nu depind de condițiile de tensiune și frecvența de intrare. Aceasta înseamnă că atunci când este proiectat în acest scop, UPS-ul poate funcționa ca un convertizor de frecvență.

Practic vorbind, aceasta este configurația utilizată în principal în cazul puterilor medii și mari (de la 10 kVA în sus). În continuarea acestui capitol se va considera doar această configurație.

**Notă**: Acest tip de UPS este deseori numit “on-line“, aceasta însemnând că sarcina este în mod continuu alimentată prin intermediul invertorului, indiferent de caracteristicile intrării de c.a. Acest termen induce, totuși în eroare deoarece sugerează “alimentarea de la sursa principală”, când, de fapt, sarcina este alimentată cu energie reconstituită de către sistemul de dublă conversie. De aceea, standardul CEI 62040 recomandă termenul de “dublă conversie”.

## 2.3 Baterii

### Alegerea tipului de baterii

O baterie este alcătuită din interconectarea de celule care pot fi de tipul deschise sau cu recombinare.
Există două familii principale de baterii:
- baterii Nichel-Cadmiu;
- baterii cu plumb;
- celulele deschise (plumb-antimoniu): acestea sunt echipate cu porturi pentru:
  - eliberarea în atmosferă de oxigen și hidrogen produs în timpul diferitelor reacții chimice,
  - dopuri pentru electrolit pentru adăugarea de apă distilată sau demineralizată.
- celule cu recombinare (de plumb, plumb pur, plumb-cositor): rata de recombinare a gazului este de cel puțin 95% și, de aceea, acestea nu necesită apă în timpul duratei de viață.

Prin extrapolare, se va face referire la baterii deschise sau recombinate (bateriile recombinate sunt deseori numite și baterii “capsulate”).

Principalele tipuri de baterii utilizate în legătură cu UPS-urile sunt:
- baterii capsulate cu plumb, utilizate în proporție de 95% deoarece sunt ușor de întreținut și nu necesită o cameră specială;
- baterii deschise cu plumb;
- baterii deschise cu nichel-cadmiu.

Cele trei tipuri de baterii menționate mai sus pot fi propuse, în funcție de factori economici și de cerințele de funcționare ale instalației.
Nivelurile de capacitate și timpul de descărcare pot fi adaptate nevoilor utilizatorului.
Bateriile propuse sunt, de asemenea, perfect potrivite aplicațiilor cu UPS care sunt, de fapt, rezultatul colaborării cu producătorii de astfel de baterii.

### Alegerea duratei de autonomie (timpului de descărcare a bateriilor)

Această alegere depinde de:
- durata medie a întreruperilor sistemului de alimentare;
- timpul de așteptare pentru ca surse alternative aflate în standby (grup generator, etc.) să fie disponibile;
- tipul de aplicație.

Valorile tipice propuse, în general, sunt:
- valori standard: 10, 15, 30 minute;
- valori cerute de aplicație.

Se aplică următoarele reguli generale:
- aplicații tip computer:

Autonomia bateriilor trebuie să fie suficient de mare pentru a acoperi timpul necesar procedurilor de salvare a fișierului în curs și cele de închidere controlată a sistemului de computere. În general, departamentul de calcul stabilește autonomia necesară în funcție de cerințele specifice;
- procese industriale:

Calculele referitoare la autonomie ar trebui să țină cont de costurile economice create de orice întrerupere în alimentarea cu energie electrică și, de asemenea, de timpul necesar repornirii acestor procese industriale.

### Tabele de selecție

**Tabelul N19** prezintă caracteristicile principale ale diferitelor tipuri de baterii. În mod evident, bateriile cu recombinare (etanșe) par să fie alegerea pieței din următoarele motive:
- nu necesită întreținere;
- sunt ușor de implementat;
- se instalează în orice tip de cameră (camera calculatoarelor, camera tehnică nespecifică pentru baterii, etc.).

Există cazuri în care bateriile deschise sunt preferate, îndeosebi datorită:
- duratei mari de viață;
- autonomiei crescute;
- puterilor nominale mari ale UPS-ului.

Bateriile deschise trebuie instalate în camere speciale, în conformitate cu norme și reguli precise și necesită o întreținere adecvată.

| | Durata de viață | Compacte | Toleranțele temperaturii de funcționare | Frecvența operațiunilor de întreținere | Cameră specială | Cost |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Baterii de plumb etanșe | 5 sau 10 ani | + | + | Mică | Nu | Mic spre mediu |
| Baterii deschise cu plumb | 5 sau 10 ani | + | ++ | Medie | Da | Mic |
| Nichel-Cadmiu | 5 sau 10 ani | ++ | +++ | Mare | Nu | Mare |

*Tab. N19: Principalele caracteristici ale diferitelor tipuri de baterii.*

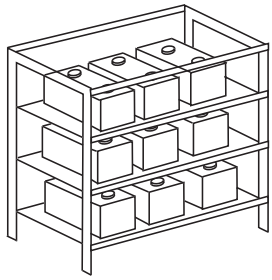


*Fig. N20: Instalare pe rafturi.*

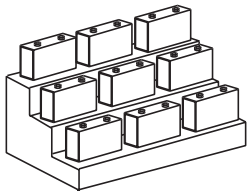


*Fig. N21: Instalare pe gradene.*

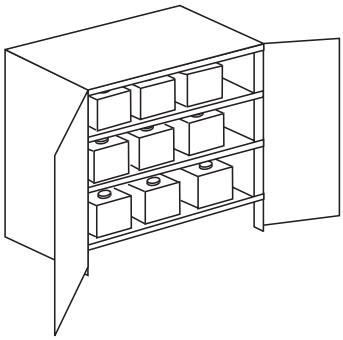


*Fig. N22: Instalare în dulapuri.*

## Metode de instalare

În funcție de puterea UPS-ului, de capacitatea și de autonomia bateriei, acestea pot fi:
- de tip capsulat și incluse în dulapul UPS-ului;
- de tip capsulat și incluse în unu până la trei dulapuri separate;
- de tip deschis sau capsulat și montate pe un rack. În acest caz, metoda de instalare poate fi:
  - pe rafturi (vezi **Fig. N20**). Această metodă de instalare este posibilă în cazul bateriilor capsulate sau a celor deschise, fără întreținere care nu necesită umplerea cu electrolit,
  - pe gradene (vezi **Fig. N21**). Această metodă de instalare este adecvată tuturor tipurilor de baterii și, în special pentru cele deschise pentru care verificarea și umplerea cu electrolit se pot face cu ușurință,
  - în dulapuri (vezi **Fig. N22**). Această metodă de instalare este adecvată bateriilor capsulate. Este ușor de implementat și oferă maximum de siguranță.

## 2.4 Sistemul de tratare al neutrului în instalațiile cu UPS-uri

Aplicarea sistemelor de protecție stipulate de standarde în cazul instalațiilor cu UPS-uri impun un număr de măsuri de precauție din următoarele motive:
- UPS-ul joacă două roluri:
  - de sarcină pentru sistemul din amonte,
  - de sursă pentru sistemul din aval;
- când bateriile nu sunt instalate în dulap, un defect de izolație în circutul de c.c. poate conduce la o componentă continuă de curent rezidual.

Această componentă poate perturba funcționarea anumitor dispozitive de protecție, de exemplu, dispozitivele de curent diferențial rezidual utilizate pentru protecția persoanelor.

### Protecția împotriva contactelor directe (vezi **Fig. N23**)

Toate instalațiile îndeplinesc condițiile generale deoarece echipamentul este inclus în dulapuri având un grad de protecție IP 20. Acest lucru este adevărat chiar pentru baterii, atunci când acestea sunt instalate în dulapuri. Când bateriile nu sunt instalate în dulapuri ci în camere speciale, atunci trebuie aplicate măsurile de protecție prezentate la finalul acestui capitol.

**Notă**: Sistemul TN (versiunile TN-S sau TN-C) este frecvent recomandat pentru alimentarea sistemelor de calculatoare.

| Tipul de sistem de tratare a neutrului | Sistem IT | Sistem TT | Sistem TN |
|---|---|---|---|
| **Funcționare** | ■ Semnalizarea primului defect de izolație<br>■ Localizarea și eliminarea primului defect<br>■ Deconectarea la al doilea defect de izolație | ■ Deconectarea la primul defect de izolație | ■ Deconectarea la primul defect de izolație |
| **Tehnici pentru protecția persoanelor** | ■ Interconectarea și legarea la priza de pământ a părților conductoare<br>■ Supravegherea primului defect utilizând un echipament de control permanent al izolației<br>■ Al doilea defect determină întreruperea circuitului (întreruptor automat sau fuzibil) | ■ Legarea la pământ a părților conductoare și utilizarea unui dispozitiv de curent diferențial rezidual<br>■ Primul defect determină întreruperea circuitului datorită detectării scurgerilor de curent | ■ Interconectarea și legarea la priza de pământ a părților conductoare și a conductorului de protecție<br>■ Primul defect determină întreruperea circuitului datorită detectării de supra-curent (întreruptor automat sau fuzibil) |
| **Avantaje și dezavantaje** | ■ Soluția oferă cea mai bună continuitate a serviciilor (semnalizarea primului defect)<br>■ Impune un personal competent de între-ținere (pentru localizarea primului defect) | ■ Cea mai ușoară soluție în termeni de proiectare și execuție<br>■ Nu necesită contr. permanent al izolației<br>■ Totuși, orice defect determină întreruperea circuitului respectiv | ■ Soluție ieftină în termeni de instalare<br>■ Proiectare dificilă (calcularea impedanței buclei de defect)<br>■ Impune un personal calificat în exploatare<br>■ Circulația unor curenți mari de defect |

*Fig. N23: Principalele caracteristici ale diferitelor sisteme de tratare a neutrului.*

## Puncte esențiale de verificat referitor la UPS-uri

**Figura N24** arată toate punctele esențiale care trebuie interconectate și, de asemenea, dispozitivele care trebuie instalate (transformatoare, dispozitive de curent diferențial rezidual, etc.) pentru a se asigura conformitatea instalației cu standardele de siguranță în vigoare.

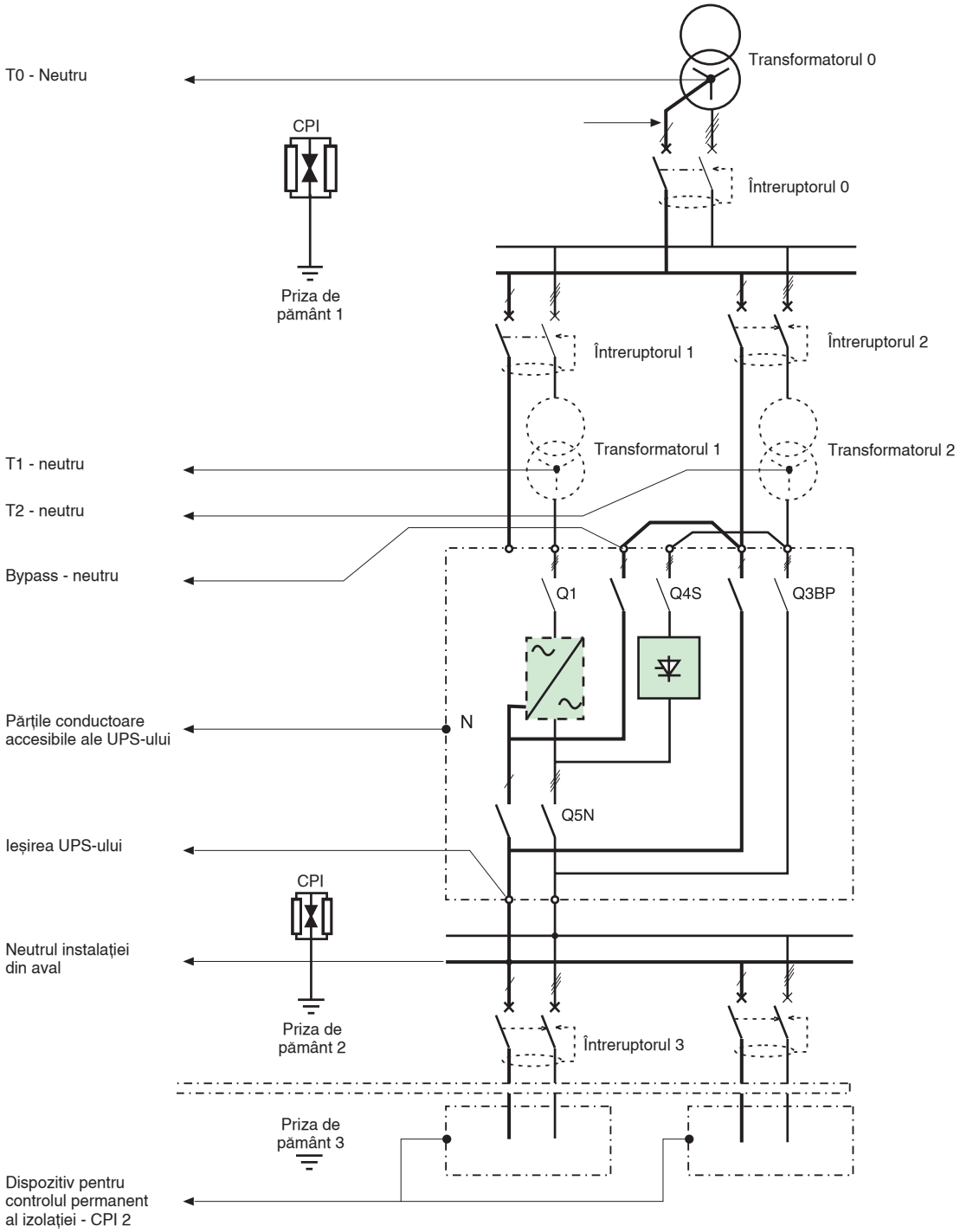



*Fig. N24: Punctele esențiale care trebuie conectate în sistemul de legare la pământ.*

## 2.5 Alegerea schemei de protecție

Întreruptoarele automate au un rol major în instalație dar importanța lor apare mai ales în timpul unor evenimente accidentale, care nu sunt frecvente. Cea mai corectă dimensionare a UPS-ului și cea mai bună configurație poate fi compromisă printr-o alegere greșită doar a unui întreruptor automat.

### Alegerea întreruptorului

**Figura N25** arată modul cum se aleg întreruptoarele.

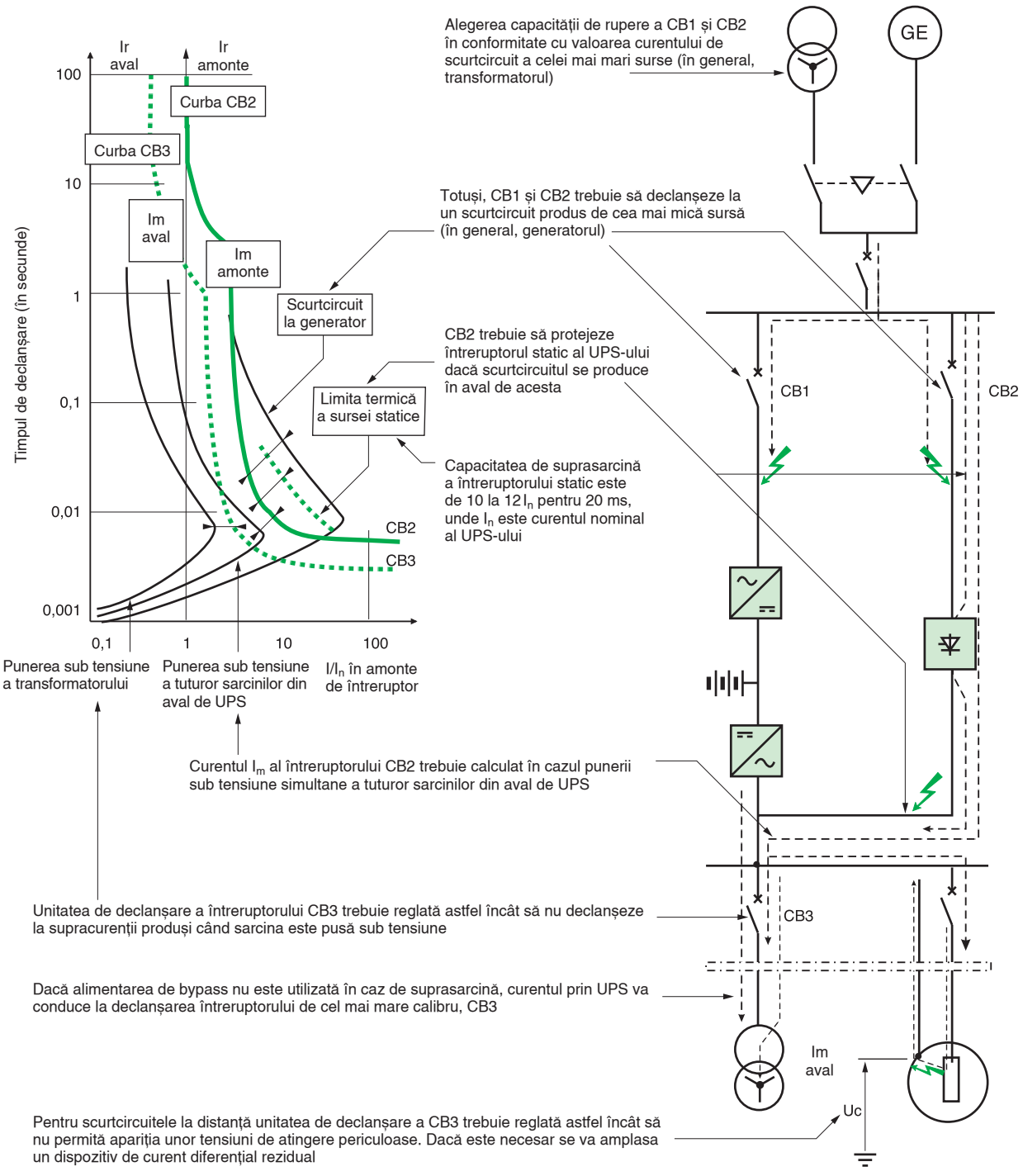

Ir aval
Ir amonte
100
Curba CB2
Curba CB3
10
Im aval
Im amonte
1
Scurtcircuit la generator
0,1
Limita termică a sursei statice
0,01
CB2
CB3
0,001
Timpul de declanșare (în secunde)
0,1
1
10
100
Punerea sub tensiune a transformatorului
Punerea sub tensiune a tuturor sarcinilor din aval de UPS
I/In în amonte de întreruptor
Alegerea capacității de rupere a CB1 și CB2 în conformitate cu valoarea curentului de scurtcircuit a celei mai mari surse (în general, transformatorul)
GE
Totuși, CB1 și CB2 trebuie să declanșeze la un scurtcircuit produs de cea mai mică sursă (în general, generatorul)
CB2 trebuie să protejeze întreruptorul static al UPS-ului dacă scurtcircuitul se produce în aval de acesta
CB1
CB2
Capacitatea de suprasarcină a întreruptorului static este de 10 la 12 In pentru 20 ms, unde In este curentul nominal al UPS-ului
Curentul Im al întreruptorului CB2 trebuie calculat în cazul punerii sub tensiune simultane a tuturor sarcinilor din aval de UPS
Unitatea de declanșare a întreruptorului CB3 trebuie reglată astfel încât să nu declanșeze la supracurenții produși când sarcina este pusă sub tensiune
CB3
Dacă alimentarea de bypass nu este utilizată în caz de suprasarcină, curentul prin UPS va conduce la declanșarea întreruptorului de cel mai mare calibru, CB3
Im aval
Pentru scurtcircuitele la distanță unitatea de declanșare a CB3 trebuie reglată astfel încât să nu permită apariția unor tensiuni de atingere periculoase. Dacă este necesar se va amplasa un dispozitiv de curent diferențial rezidual
Uc

*Fig. N25: Întreruptoarele sunt supuse unei varietăți de situații.*

## Valoarea nominală

Valoarea nominală a întreruptorului automat trebuie aleasă astfel încât să corespundă valorii nominale a curentului prin cablul din aval ce trebuie protejat.

## Capacitatea de rupere

Capacitatea de rupere trebuie aleasă superioară curentului de scurtcircuit cel mai mare care poate apărea în acel punct al instalației.

## Pragurile $I_r$ și $I_m$

Tabelul de mai jos indică modul de determinare al pragurilor de declanșare $I_r$ (suprasarcină: termic sau de lungă durată) și, respectiv, $I_m$ (scurtcircuit: magnetic sau de scurtă durată) pentru a se asigura selectivitatea în funcție de unitățile de declanșare ale întreruptoarelor din amonte și aval.

## Remarcă (vezi Fig. N26)

- Selectivitatea temporală poate fi implementată de către personal calificat deoarece temporizările la declanșare măresc stresul termic ($I^2t$) din aval (al cablului, dispozitivelor electronice, etc.). Sunt necesare anumite precauții dacă întreruptorul CB2 este temporizat la declanșarea la pragul magnetic $I_m$.
- Selectivitatea energetică nu depinde de unitățile de declanșare ci numai de întreruptorul automat.

| Tipul de circuit din aval | $I_r$ amonte/$I_r$ aval | $I_m$ amonte/$I_m$ aval | $I_m$ amonte/$I_m$ aval |
|---|---|---|---|
| Unitatea de declanșare din aval | Toate tipurile | Magnetic | Electronic |
| Distribuție | > 1,6 | >2 | >1,5 |
| Motoare asincrone | >3 | >2 | >1,5 |

*Tab. N26: Pragurile de declanșare $I_r$ și $I_m$ în funcție de unitățile de declanșare din amonte și aval.*

## Cazul special al scurtcircuitelor la generator

**Figura N27** arată reacția generatorului în caz de scurtcircuit.
Pentru a evita incertitudinile legate de tipul de excitație se va produce declanșare la primul vârf de curent (3 la 5 $I_n$ per X"d) utilizând pragul de declanșare $I_m$ fără nici o temporizare.

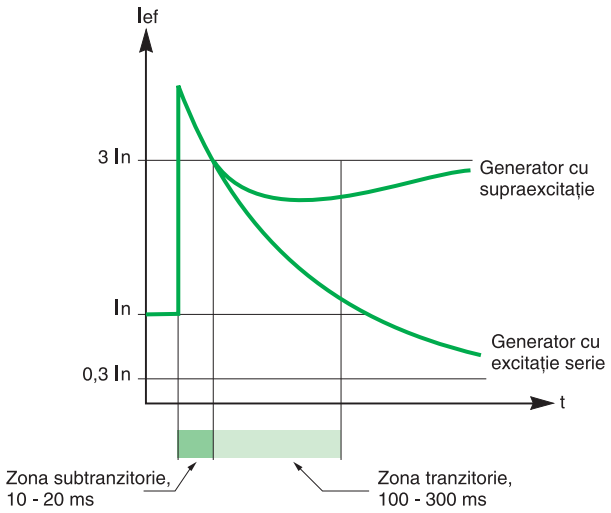



*Fig. N27: Generatorul în timpul unui scurtcircuit.*

## 2.6 Instalarea, conectarea și dimensionarea cablurilor

### UPS-uri “gata de utilizare”

UPS-urile de puteri mici adecvate pentru microcomputere, de exemplu, sunt echipamente compacte, pregătite pentru a fi utilizate. Cablarea internă este realizată în fabrică și adaptată caracteristicilor dispozitivelor pe care urmează să le alimenteze.

### UPS-uri in pregatire pentru utilizare

Pentru alte UPS-uri, conexiunile la sistemul de alimentare, la baterii și la sarcină nu sunt incluse. Conexiunile depind de nivelul curentului, așa cum este indicat în **Fig. N28**.

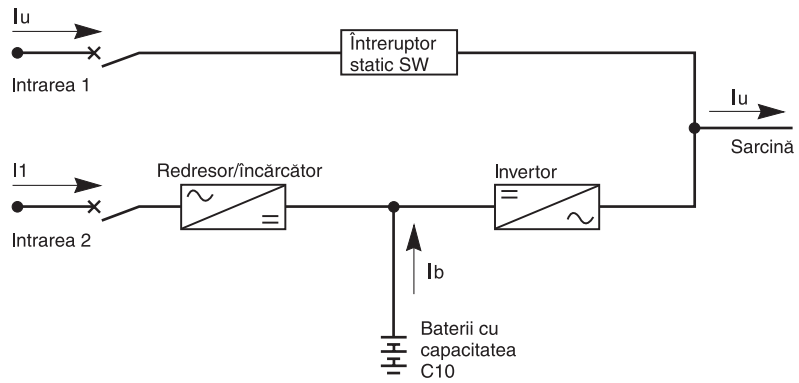



*Fig.N28: Curentul de luat în considerare pentru alegerea sistemului de conexiuni.*

### Calculul curentilor $I_1$, $I_u$

- Curentul de intrare $I_u$ de la sistemul de alimentare este curentul de sarcină;
- Curentul de intrare $I_1$ al redresorului/încărcător depinde de:
  - capacitatea bateriilor (C10) și de funcționarea în modul de încărcare ($I_b$),
  - caracteristicile încărcătorului,
  - eficiența invertorului;
- Curentul $I_b$ este curentul în conexiunea cu bateriile.

Acești curenți sunt dați de producător.

### Creșterea de temperatură a cablului și căderea de tensiune

Secțiunea cablului depinde de:

- creșterea de temperatură admisibilă;
- căderea de tensiune admisibilă.

Pentru o sarcina dată, fiecare din acești doi parametri determină o secțiune minimă admisibilă. Se va lua în considerare cea mai mare dintre aceste două valori.
De-a lungul cablurilor lungi, pe traseele acestora, se va avea în vedere menținerea unei distanțe impuse între circuitele de comandă și de putere, pentru a se evita orice posibilă perturbație creată de curenții de înaltă frecvență.

### Creșterea de temperatură

Creșterea admisibilă de temperatură în interiorul cablului este limitată de capacitatea de ținere a izolației sale.
Creșterea de temperatură în cablu depinde de:

- materialul conductorului (Cu sau Al);
- metoda de instalare;
- numărul de cabluri care se ating.

Pentru fiecare tip de cablu, standardele menționează curentul maxim admisibil.

### Căderea de tensiune

Valorile maxime admisibile ale căderilor de tensiune sunt:

- 3% pentru circuitele de c.a (50 sau 60 Hz);
- 1% pentru circuitele de c.c.

**Tabele de selecție**

**Tabelul N29** prezintă căderile de tensiune, în procente, pentru un circuit în lungime de 100 m de cablu. Pentru a calcula căderea de tensiune pe un circuit de lungime L, se va multiplica valoarea din tabel cu L/100.

- $S_{ph}$: secțiunea conductorului de fază;
- $I_n$: curentul nominal al dispozitivului de protecție al circuitului.

**Circuite trifazate**

Dacă căderea de tensiune depășește 3% (50 la 60 Hz), se va crește secțiunea cablului.

**Circuite de c.c.**

Dacă căderea de tensiune depășește 1%, se va crește secțiunea cablului.

**a - Circuite trifazate (conductoare din Cu)**

**50-60 Hz - 380 V / 400 V / 415 V trifazat, cos φ = 0,8, sistem echilibrat 3F + N**

| $I_n$ | $S_{ph}$ (mm²) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (A) | 10 | 16 | 25 | 35 | 50 | 70 | 95 | 120 | 150 | 185 | 240 | 300 |
| 10 | 0,9 | | | | | | | | | | | |
| 15 | 1,2 | | | | | | | | | | | |
| 20 | 1,6 | 1,1 | | | | | | | | | | |
| 25 | 2,0 | 1,3 | 0,9 | | | | | | | | | |
| 32 | 2,6 | 1,7 | 1,1 | | | | | | | | | |
| 40 | 3,3 | 2,1 | 1,4 | 1,0 | | | | | | | | |
| 50 | 4,1 | 2,6 | 1,7 | 1,3 | 1,0 | | | | | | | |
| 63 | 5,1 | 3,3 | 2,2 | 1,6 | 1,2 | 0,9 | | | | | | |
| 70 | 5,7 | 3,7 | 2,4 | 1,7 | 1,3 | 1,0 | 0,8 | | | | | |
| 80 | 6,5 | 4,2 | 2,7 | 2,1 | 1,5 | 1,2 | 0,9 | 0,7 | | | | |
| 100 | 8,2 | 5,3 | 3,4 | 2,6 | 2,0 | 2,0 | 1,1 | 0,9 | 0,8 | | | |
| 125 | | 6,6 | 4,3 | 3,2 | 2,4 | 2,4 | 1,4 | 1,1 | 1,0 | 0,8 | | |
| 160 | | | 5,5 | 4,3 | 3,2 | 3,2 | 1,8 | 1,5 | 1,2 | 1,1 | 0,9 | |
| 200 | | | | 5,3 | 3,9 | 3,9 | 2,2 | 1,8 | 1,6 | 1,3 | 1,2 | 0,9 |
| 250 | | | | | 4,9 | 4,9 | 2,8 | 2,3 | 1,9 | 1,7 | 1,4 | 1,2 |
| 320 | | | | | | | 3,5 | 2,9 | 2,5 | 2,1 | 1,9 | 1,5 |
| 400 | | | | | | | 4,4 | 3,6 | 3,1 | 2,7 | 2,3 | 1,9 |
| 500 | | | | | | | | 4,5 | 3,9 | 3,4 | 2,9 | 2,4 |
| 600 | | | | | | | | | 4,9 | 4,2 | 3,6 | 3,0 |
| 800 | | | | | | | | | | 5,3 | 4,4 | 3,8 |
| 1.000 | | | | | | | | | | | 6,5 | 4,7 |

Pentru un circuit trifazat de 230 V, se va multiplica valoarea cu √3.
Pentru un circuit monofazat 208/230 V, se va multiplica valoarea cu 2

**b - Circuit de c.c. (conductoare din Cu)**

| In | $S_{ph}$ (mm²) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (A) | - | - | 25 | 35 | 50 | 70 | 95 | 120 | 150 | 185 | 240 | 300 |
| 100 | | | 5,1 | 3,6 | 2,6 | 1,9 | 1,3 | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,4 |
| 125 | | | | 4,5 | 3,2 | 2,3 | 1,6 | 1,3 | 1,0 | 0,8 | 0,6 | 0,5 |
| 160 | | | | | 4,0 | 2,9 | 2,2 | 1,6 | 1,2 | 1,1 | 0,6 | 0,7 |
| 200 | | | | | | 3,6 | 2,7 | 2,2 | 1,6 | 1,3 | 1,0 | 0,8 |
| 250 | | | | | | | 3,3 | 2,7 | 2,2 | 1,7 | 1,3 | 1,0 |
| 320 | | | | | | | | 3,4 | 2,7 | 2,1 | 1,6 | 1,3 |
| 400 | | | | | | | | | 3,4 | 2,8 | 2,1 | 1,6 |
| 500 | | | | | | | | | | 3,4 | 2,6 | 2,1 |
| 600 | | | | | | | | | | 4,3 | 3,3 | 2,7 |
| 800 | | | | | | | | | | | 4,2 | 3,4 |
| 1.000 | | | | | | | | | | | 5,3 | 4,2 |
| 1.250 | | | | | | | | | | | | 5,3 |

*Tab. N29: Căderea de tensiune, în procente, pentru **[a]** - circuite trifazate, și **[b]** - circuite de c.c.*

## Cazul special pentru conductoare de neutru

În sistemele trifazate, armonicile de ordinul 3 (și cele multiplu de trei) ale sarcinilor monofazate se însumează pe conductorul neutru (suma curenților de pe cele trei faze).
Din acest motiv, se aplică următoarea regulă:
secțiunea conductorului de neutru = 1,5 x secțiunea conductorului de fază.

**Exemplu**
Se consideră un circuit trifazat de 70 m lungime, 400 V, cu conductoare din Cu. și având curentul nominal de 600 A.
Standardul CEI 364 indică secțiunea minimă a cablului în funcție de metoda de instalare și de sarcină.
Vom presupune că valoarea secțiunii minime a cablului este 95 mm$^2$.
Este necesar să se verifice, mai întâi, faptul că, căderea de tensiune nu depășește 3%.
Tabelul aferent circuitelor trifazate, prezentat anterior, arată, pentru 600 A, curent care circulă într-un cablu de 300 mm$^2$, o cădere de tensiune de 3% pentru 100 m de cablu, prin urmare, pentru 70 m lungime:

$$3 \times \frac{70}{100} = 2{,}1\%$$

Prin urmare, este o valoare mai mică decât 3%.
Un calcul similar se poate face pentru circuitul de c.c. de 1000 A având lungimea de 10 m.
Căderea de tensiune pentru 100 m de cablu de 240 mm$^2$ este 5,3%, iar pentru 10 m:

$$5{,}3 \times \frac{10}{100} = 0{,}53\%$$

Prin urmare, mai mică decât 1%.

## 2.7 UPS-urile și mediul de funcționare

UPS-urile pot comunica cu echipamente electrice și cu mediile de calculatoare.
UPS-urile pot primi date și, de asemenea, furniza informații legate de funcționarea sa pentru:
- Optimizarea protecției

De exemplu, UPS-urile furnizează unui sistem de monitorizare, informații esențiale legate de funcționarea lor (sarcină pe invertor, sarcină pe bypass, sarcină pe baterie, alarme de baterie descărcată).
- Comanda de la distanță

UPS-ul furnizează mărimi măsurate și informații legate de funcționarea sa aducându-le astfel, la cunoștința personalului de exploatare, în scopul luării anumitor măsuri specifice.
- Urmărirea instalației

Personalul de exploatare are o clădire și un sistem de management al energiei care îi permite să obțină și să salveze informații de la UPS, pentru a crea alarme în scopul luării de măsuri corespunzătoare.
Această evoluție spre o compatibilitate între computer și UPS-uri are ca efect încorporarea unor noi funcții implicite în acest UPS.

## 2.8 Echipamente complementare

### Transformatoare

Un transformator cu două înfășurări amplasat în amonte de un contactor static permite:
- schimbarea nivelului de tensiune atunci când tensiunea rețelei este diferită de cea a sarcinii;
- schimbarea sistemului de tratare a neutrului între cele două rețele.

Mai mult, un astfel de transformator:
- reduce nivelul curentului de scurtcircuit în secundar (adică la sarcină) în comparație cu cel de la nivelul rețelei de alimentare;
- împiedică curenții de armonica 3 care pot fi prezenți în secundarul transformatorului să pătrundă în rețeaua de alimentare, cu condiția ca înfășurarea primară să fie conectată în triunghi.

### Filtre antiarmonici

UPS-ul include un sistem de încărcare a bateriilor care este comandat cu tiristoare sau tranzistoare. Curenții “choppați” rezultați cuprind componente armonice care pătrund în rețeaua de alimentare.
Aceste componente nedorite sunt filtrate la intrarea în redresor și, în majoritatea cazurilor, acesta reduce nivelele de curenți armonici suficient de mult, pentru orice aplicație.
În anumite cazuri specifice și anume, în instalațiile foarte mari, poate fi necesar și un filtru suplimentar.

De exemplu, atunci când:
- puterea UPS-ului este relativ mare în raport cu cea a transformatorului MT/JT care îl alimentează;
- sarcinile care se alimentează din sistemul de bare sunt sensibile din punct de vedere al armonicilor;
- există o sursă de standby alternativă (ex. generator Diesel sau cu turbină cu gaz).

În astfel de cazuri, producătorul de UPS trebuie consultat.

**Echipamente de comunicare**

Comunicarea cu echipamentele asociate sistemelor de computere poate duce la nevoia unor accesorii adecvate pentru UPS-uri. Astfel de accesorii pot fi încorporate în aparat (vezi **Fig. N30a**) sau pot fi adăugate ulterior, la cerere, sistemelor existente (vezi **Fig. N30b**).

*Fig. N30a: Unități UPS gata de utilizare (cu modul DIN).*

*Fig. N30b: Unități UPS realizate pentru alimentarea sistemelor de calculatoare.*

# 3 Protecția transformatoarelor JT/JT

Aceste transformatoare se găsesc, în general, în gama de la câteva sute de VA la câteva sute de kVA și sunt utilizate, în mod frecvent, pentru:
- schimbarea nivelurilor de tensiune în scopul:
  - alimentărilor auxiliare a circuitelor de comandă și semnalizare,
  - circuitelor de iluminat (230 V creați atunci când tensiunea primară este de 400 V, trifazat, 3 conductoare);
- schimbarea sistemului de tratare a neutrului pentru anumite sarcini ce au un curent capacitiv destul de ridicat către pământ (echipamente tip calculatoare) sau scurgeri de curent rezistive (cuptoare electrice, procese industriale de încălzire, instalații de bucătărie, etc,).

Transformatoarele JT/JT sunt, în general, livrate având sisteme de protecție încorporate, prin urmare producătorul acestora trebuie consultat pentru detalii.
Protecția la supracurenți trebuie, în orice caz, asigurată la nivelul înfășurării primare.
Exploatarea acestor transformatoare impune cunoașterea funcțiilor lor particulare, împreună cu un număr de aspecte descrise în continuare.
**Notă:** În cazul particular al transformatoarelor JT/JT de izolație la tensiune foarte joasă, între înfășurările primare și secundare este utilizat frecvent un ecran metalic conectat la priza de pământ, în funcție de anumite situații, și în conformitate cu recomandările standardului European EN 60742.

## 3.1 Curentul absorbit la conectarea transformatorului

În momentul punerii sub tensiune al transformatorului, apar curenți tranzitorii de valori mari (care includ și o componentă semnificativă de curent continuu) care trebuie luați în considerare la alegerea schemelor de protecție (vezi **Fig. N31**).

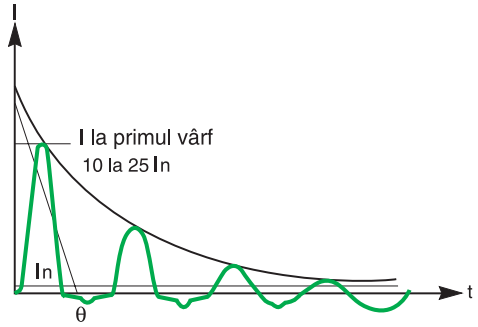



*Fig. N31: Curentul inițial la punerea sub tensiune a transformatorului,*

Valoarea curentului de vârf depinde de:
- valoarea tensiunii în momentul punerii sub tensiune;
- amplitudinea și polaritatea fluxului rezidual existent în miezul transformatorului;
- caracteristicile sarcinii transformatorului.

Valoarea curentului de vârf poate atinge de 10 la 15 ori curentul nominal (valoare eficace), dar, pentru transformatoarele mici (< 50 kVA), poate atinge valori de 20 la 25 ori curentul nominal de sarcină. Acest curent tranzitoriu descrește rapid cu o constantă de timp θ având ordinul de mărime de la câteva ms la câteva zeci de ms.

## 3.2 Protecția circuitelor de alimentare a transformatoarelor JT/JT

Dispozitivele de protecție de pe circuitele care alimentează transformatoarele JT/JT trebuie să evite posibilitatea unei funcționări incorecte datorită curenților inițiali la punerea sub tensiune menționați mai sus. De aceea, este necesar să se utilizeze:
- întreruptoare selective (ușor temporizate) de tip Compact NS, STR (vezi **Fig. N32**) sau
- întreruptoare având praguri magnetice reglate la valori foarte mari, de tip Compact NS sau Multi 9, curbă D (vezi **Fig. N33**).

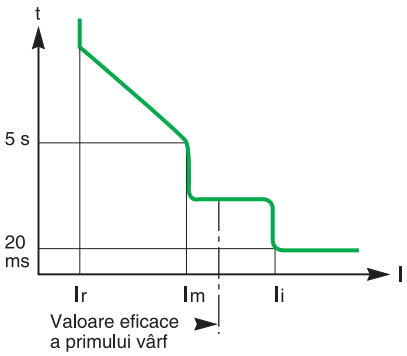



*Fig. N32: Caracteristica de declanșare a unui Compact NS echipat cu declanșator electronic STR.*

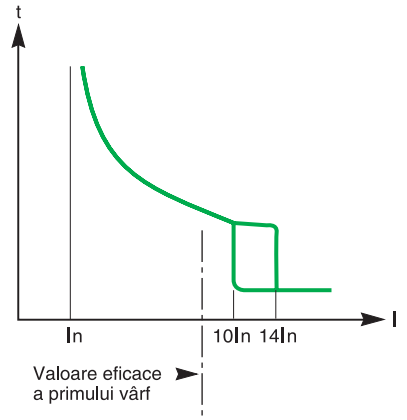



*Fig. N33: Caracteristica de declanșare a unui întreruptor Multi 9, curba D.*

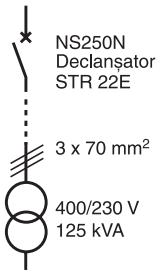



*Fig. N34: Exemplu.*

**Exemplu**
Un circuit trifazat la 400 V alimentează un transformator de 125 kVA, 400/230 V ($I_n$ = 180 A) pentru care curentul inițial de vârf la punerea sub tensiune atinge 12 $I_n$, adică 12 x 180 = 2160 A. Acest vârf de curent are o valoare eficace corespunzătoare de 1530 A. Un întreruptor Compact NS250N cu reglajul $I_r$ la 200 A și cu reglaj $I_m$ = 8 x $I_r$ poate fi o protecție adecvată.

**Caz particular: Protecția la suprasarcină instalată pe circuitul înfășurării secundare a transformatorului (**vezi **Fig. N34)**
Avantajul instalării protecției la suprasarcină pe circuitul înfășurării secundare a transformatorului este acela că protecția la scurtcircuit în primar poate fi reglată la valori mari sau, ca alternativă, poate fi utilizat un întreruptor automat cu declanșator tip MA (numai magnetic). Totuși, reglajul protecției la scurtcircuit din primarul transformatorului trebuie să fie suficient de sensibil pentru a asigura funcționarea întreruptorului în eventualitatea unui scurtcircuit care se poate produce în secundarul său.
**Notă:** Protecția din primar este deseori asigurată cu fuzibile tip aM. Această practică are două dezavantaje:
- fuzibilele pot fi ușor supradimensionate (cel puțin de 4 ori curentul nominal al transformatorului);
- pentru a se asigura izolarea înfășurării primare, trebuie asociat cu fuzibilele fie un separator de sarcină, fie un contactor.

## 3.3 Caracteristici electrice tipice ale transformatoarelor JT/JT, 50 Hz

| **Trifazate** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Puteri nom. (kVA) | 5 | 6,3 | 8 | 10 | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 |
| Pierderi în gol (W) | 100 | 110 | 130 | 150 | 160 | 170 | 270 | 310 | 350 | 350 | 410 | 460 | 520 | 570 | 680 | 680 | 790 | 950 | 1160 | 1240 | 1485 | 1855 | 2160 |
| Pierderi în Cu (W) | 250 | 320 | 390 | 500 | 600 | 840 | 800 | 1180 | 1240 | 1530 | 1650 | 2150 | 2540 | 3700 | 3700 | 5900 | 5900 | 6500 | 7400 | 9300 | 9400 | 11400 | 13400 |
| Tensiune de scurtcirc, (%) | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5 | 5 | 4,5 | 5 | 5 | 5,5 | 4,5 | 5,5 | 5 | 5 | 4,5 | 6 | 6 | 5,5 | 5,5 |

| **Monofazate** | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Puteri nom. (kVA) | 8 | 10 | 12,5 | 16 | 20 | 25 | 31,5 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 |
| Pierderi în gol (W) | 105 | 115 | 120 | 140 | 150 | 175 | 200 | 215 | 265 | 305 | 450 | 450 | 525 | 635 |
| Pierderi în Cu, (W) | 400 | 530 | 635 | 730 | 865 | 1065 | 1200 | 1400 | 1900 | 2000 | 2450 | 3950 | 3950 | 4335 |
| Tens, de scurtcircuit (%) | 5 | 5 | 5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4,5 | 5,5 | 5 | 5 |

## 3.4 Protecția transformatoarelor JT/JT utilizând întreruptoare automate Merlin Gerin

**Întreruptoare automate Multi 9**

| **Puterea nominală (kVA)** | | | **Întreruptor automat curbă D sau K** | **Calibru (A)** |
|---|---|---|---|---|
| **Monofazat 230/240 V** | **Trifazat 230/240 V Monofaz. 400/415 V** | **Trifazat 400/415 V** | | |
| 0,05 | 0,09 | 0,16 | C60, NG125 | 0,5 |
| 0,11 | 0,18 | 0,32 | C60, NG125 | 1 |
| 0,21 | 0,36 | 0,63 | C60, NG125 | 2 |
| 0,33 | 0,58 | 1,0 | C60, NG125 | 3 |
| 0,67 | 1,2 | 2,0 | C60, NG125 | 6 |
| 1,1 | 1,8 | 3,2 | C60, C120, NG125 | 10 |
| 1,7 | 2,9 | 5,0 | C60, C120, NG125 | 16 |
| 2,1 | 3,6 | 6,3 | C60, C120, NG125 | 20 |
| 2,7 | 4,6 | 8,0 | C60, C120, NG125 | 25 |
| 3,3 | 5,8 | 10 | C60, C120, NG125 | 32 |
| 4,2 | 7,2 | 13 | C60, C120, NG125 | 40 |
| 5,3 | 9,2 | 16 | C60, C120, NC100, NG125 | 50 |
| 6,7 | 12 | 20 | C60, C120, NC100, NG125 | 63 |
| 8,3 | 14 | 25 | C120, NC100, NG125 | 80 |
| 11 | 18 | 32 | C120, NC100, NG125 | 100 |
| 13 | 23 | 40 | C120, NG125 | 125 |

# 3 Protecția transformatoarelor JT/JT

### Întreruptoare automate Compact NS100 ... NS250 echipate cu declanșatoare TM-D

| Puterea nominală (kVA) Monofazat 230/240 V | Trifazat 230/240 V Monofaz. 400/415 V | Trifazat 400/415 V | Întreruptor automat | Calibru (A) |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 5…6 | 9…12 | NS100N/H/L | TM16D |
| 5 | 8…9 | 14…16 | NS100N/H/L | TM05D |
| 7…9 | 13…16 | 22…28 | NS100N/H/L | TM40D |
| 12…15 | 20…25 | 35…44 | NS100N/H/L | TM63D |
| 16…19 | 26…32 | 45…56 | NS100N/H/L | TM80D |
| 18…23 | 32…40 | 55…69 | NS160N/H/L | TM100D |
| 23…29 | 40…50 | 69…87 | NS160N/H/L | TM125D |
| 29…37 | 51…64 | 89…111 | NS250N/H/L | TM160D |
| 37…46 | 64…80 | 111…139 | NS250N/H/L | TM200D |

### Întreruptoare automate Compact N100 ... NS1600 și Masterpact echipate cu declanșatoare STR sau Micrologic

| Puterea nominală a transformatorului (kVA) Monofazat 230/240 V | Trifazat 230/240 V Monofaz. 400/415 V | Trifazat 400/415 V | Întreruptor automat | Descărcător | Reglaj $I_r$ max |
|---|---|---|---|---|---|
| 4…7 | 6…13 | 11…22 | NS100N/H/L | STR22SE 40 | 0,8 |
| 9…19 | 16…30 | 27…56 | NS100N/H/L | STR22SE 100 | 0,8 |
| 15…30 | 5…50 | 44…90 | NS160N/H/L | STR22SE 160 | 0,8 |
| 23…46 | 40…80 | 70…139 | NS250N/H/L | STR22SE 250 | 0,8 |
| 37…65 | 64…112 | 111…195 | NS400N/H | STR23SE / 53UE 400 | 0,7 |
| 37…55 | 64…95 | 111…166 | NS400L | STR23SE / 53UE 400 | 0,6 |
| 58…83 | 100…144 | 175…250 | NS630N/H/L | STR23SE / 53UE 630 | 0,6 |
| 58…150 | 100…250 | 175…436 | NS800N/H - NT08H1 | Micrologic 5,0/6,0/7,0 | 1 |
| 74…184 | 107…319 | 222…554 | NS800N/H - NT08H1 - NW08N1/H1 | Micrologic 5,0/6,0/7,0 | 1 |
| 90…230 | 159…398 | 277…693 | NS1000N/H - NT10H1 - NW10N1/H1 | Micrologic 5,0/6,0/7,0 | 1 |
| 115…288 | 200…498 | 346…866 | NS1250N/H - NT12H1 - NW12N1/H1 | Micrologic 5,0/6,0/7,0 | 1 |
| 147…368 | 256…640 | 443…1108 | NS1600N/H - NT16H1 - NW16N1/H1 | Micrologic 5,0/6,0/7,0 | 1 |
| 184…460 | 320…800 | 554…1385 | NW20N1/H1 | Micrologic 5,0/6,0/7,0 | 1 |
| 230…575 | 400…1000 | 690…1730 | NW25N2/H3 | Micrologic 5,0/6,0/7,0 | 1 |
| 294…736 | 510…1280 | 886…2217 | NW32N2/H3 | Micrologic 5,0/6,0/7,0 | 1 |

# 4 Circuite de iluminat

Sursă de confort și productivitate, iluminatul reprezintă cca. 15% din cantitatea de energie consumată în industrie și 40% în clădiri. Calitatea iluminatului (stabilitatea și continuitatea serviciului) depinde de calitatea energiei electrice absorbite. Alimentarea cu energie electrică a rețelelor de iluminat are, prin urmare mare importanță.
Pentru a ajuta proiectarea rețelei de alimentare și pentru a simplifica alegerea dispozitivului de protecție este prezentată o analiză a diferitelor tehnologii de realizare a lămpilor. Sunt prezentate de asemenea caracteristici distincte ale circuitelor de iluminat și impactul lor asupra dispozitivelor de comandă și protecție.

## 4.1 Diferite tehnologii de realizare a lămpilor

Radiația luminoasă artificială poate fi produsă din energie electrică în conformitate cu două principii: incandescență și electroluminiscență.
**Incandescența** reprezintă producerea luminii cu ajutorul creșterii de temperatură. Cel mai uzual exemplu este un filament încălzit prin circulația unui curent electric până la starea de alb. Energia furnizată este transformată în efect Joule și în flux luminos.
**Luminiscența** este fenomenul de emisie de către un material a unei radiații luminoase vizibile sau aproape vizibile. Un gaz (sau vapori) supus unei descărcări electrice emite radiație luminoasă (electroluminiscența gazelor).
Întrucât acest gaz nu conduce la temperatură și presiune normale, descărcarea este produsă prin generarea unor particule încărcate electric care produc ionizarea gazului. Natura, presiunea și temperatura gazului determină spectrul luminii.
**Fotoluminiscența** este luminiscența unui material expus unei radiații luminoase sau aproape luminoase (ultraviolet, infraroșu).
Când substanța absoarbe radiația ultravioletă și emite radiație vizibilă care în scurt timp după energizare dispare, se vorbește despre fluorescență.

**Lămpile cu incandescență**
Lămpile cu incandescență sunt din punct de vedere istoric, cele mai vechi și cele mai des întâlnite.
Ele se bazează pe principiul filamentului incendescent într-un mediu atmosferic neutru sau vid care împiedică combustia.
Se face o distincție între:
- balon standard

Acesta conține un filament de tungsten și este umplut cu un gaz inert (nitrogen și argon sau krypton);
- balon cu halogen

Acesta conține de asemenea un filament de tungsten dar este umplut cu un amestec de halogen și gaz inert (krypton sau xenon). Acest amestec de halogen este responsabil de fenomenul regenerării filamentului ceea ce mărește durata de viață a lămpilor și evită înnegrirea. Aceasta permite de asemenea o temperatură ridicată a filamentului și prin urmare o luminozitate crescută în baloane de halogen mici.
Principalul dezavantaj al lămpilor cu incandescență este disiparea unei cantități de căldură semnificativă ceea ce determină o eficiență luminoasă scazută.

**Lămpile fluorescente**
Această familie cuprinde tuburile fluorescente și lămpile fluorescent compacte.
Tehnologia lor este cunoscută în mod uzual ca “mercur de joasă presiune”.
În tuburile fluorescente o descărcare electrică determină ca electronii să se ciocnească cu ionii vaporilor de mercur rezultând radiații ultravilote datorită energizării atomilor de mercur. Materialul fluorescent care acoperă interiorul tubului transformă această radiație în radiație vizibilă.
Tuburile fluorescente disipă mai puțină căldura și au o durată mai mare de viață decât lămpile cu incandescență, dar ele necesită un dispozitiv de amorsare denumit “starter” și un dispozitiv pentru limitarea curentului din arc după amorsare. Acest dispozitiv denumit “balast” este în mod uzual o bobină amplasată în serie cu arcul.
Lămpile fluorescente compacte se bazează pe același principiu ca și tuburile fluorescente. Funcțiile starterului și balastului sunt îndeplinite de un circuit electronic (integrat în lampă) cea ce permite utilizarea unor tuburi de dimensiuni mici. Lămpile fluorescent compacte (vezi **Fig. N35**) au fost dezvoltate pentru a înlocui lămpile fluorescente. Ele permit o economie semnificativă de energie (15 W în loc de 75 W) pentru același nivel de iluminare și au o durată de viață crescută.
Lămpile cunoscute ca de tip “cu inducție” sau “fără electrozi” funcționează pe principiul ionizării gazului existent în tub datorită unui câmp electromagnetic de foarte mare frecvență (până la 1 GHz). Durata lor de viață poate fi de cca. 100000 de ore.

a -

b -

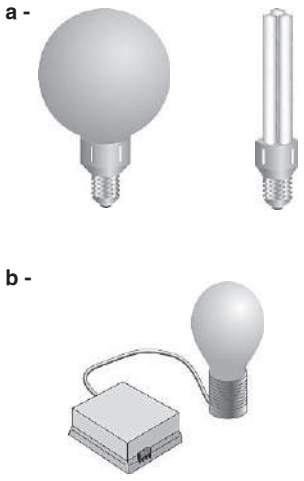


*Fig. N35: Lămpi fluorescenta compacte **[a]** standard și **[b]** cu inducție.*

# 4 Circuite de iluminat

*Fig. N36: Lămpile cu descărcări.*

**Lămpile cu descărcări (**vezi **Fig. N36)**
Lumina este produsă de o descărcare electrică dintre doi electrozi în interiorul gazului într-un balon de cuartz. Prin urmare toate aceste lămpi necesită un balast pentru a limita curentul arcului. Mai multe tehnologii au fost dezvoltate pentru diferite aplicații.
Lămpile cu descărcări în vapori de sodiu la joasă presiune se caracterizează prin cea mai mare emisie de lumină. Totuși factorul de redare a culorilor este foarte slab deoarece au radiație monocromatică oranj.
Lămpile cu descărcări în vapori de sodiu la înaltă presiune produc o lumină albă cu ușoară nuanță de oranj.
În cazul lămpilor cu descărcări în vapori de mercur de înaltă presiune descărcarea se produce într-un balon ceramic sau de cuartz la presiune înaltă. Aceste lămpi se numesc lămpi fluorescente cu descărcare în mercur. Ele produc o lumină caracteristică alb-albăstruie.
Lămpile cu halogenuri metalice sunt ultima tehnologie. Ele produc lumină cu un spectru larg de culori. Utilizarea tuburilor ceramice oferă o eficență luminoasă sporită și o mai bună stabilitate a culorilor.

**Diode emițătoare de lumină (LED)**
Principiul acestor LED-uri este emisia de lumină de către un element semiconductor parcurs de un curent electric. Ele sunt uzual utilizate în numeroase aplicații, dar dezvoltările recente de diode albe sau albastre având un flux luminos sporit, deschid noi perspective, în special în cea ce privește semnalizările (semafoare, iluminatul de urgență sau al indicatoarelor de EXIT). LED-urile sunt dispozitive ce necesită un curent mic și tensiune joasă și, prin urmare, se pretează alimentării de la baterii. În situția alimentării de la rețea se impune utilizarea unui convertor.
Avantajul LED-urilor este consumul lor energetic scăzut. Ca urmare ele funcționează la temperatură foarte scăzută și în consecință au o durată de viață foarte mare.
Ca simplă observație, o diodă emite o lumină de intensitate redusă. O instalație de iluminat de mare putere necesită, prin urmare, conectarea unui număr mare de astfel de unități în serie și paralel.

| Tehnologie | Aplicații | Avantaje | Dezavantaje |
|---|---|---|---|
| Incandescent standard | ■ Utilizări casnice<br>■ Iluminat local decorativ | ■ Conectare directă fără utilizarea unui alt dispozitiv<br>■ Preț de achiziție acceptabil<br>■ Dimensiune compactă<br>■ Iluminare instantanee<br>■ Redare bună a culorilor | ■ Eficiență energetică scăzută și consum energetic ridicat<br>■ Cantitate semnificativă de căldură disipată<br>■ Durată de viață mică |
| Incandescent halogen | ■ Iluminat tip spot<br>■ Iluminat intens | ■ Conectare directă<br>■ Eficacitate instantanee<br>■ Redare excelentă a culorilor | ■ Eficiență luminoasă medie |
| Tub fluorescent | ■ Magazine, birouri, ateliere<br>■ Iluminat exterior | ■ Eficiență luminoasă ridicată<br>■ Redare moderată a culorilor | ■ Intensitate luminoasă scăzută a unei singure unități<br>■ Sensibilitate la temp. extreme |
| Lampă fluorescentă compactă | ■ Utilizări casnice<br>■ Birouri<br>■ Înlocuiri de lămpi incandescente | ■ Eficiență luminoasă bună<br>■ Redare bună a culorilor | ■ Investiție inițială ridicată în comparație cu lămpile incandescente |
| Vapori de mercur la înaltă presiune | ■ Ateliere, hale, hangare<br>■ Fabrici | ■ Eficiență luminoasă ridicată<br>■ Redare acceptabilă a culorilor<br>■ Dimensiuni compact<br>■ Durată de viață lungă | ■ Aprinderea și reaprinderea se realizează în câteva minute |
| Sodiu la înaltă presiune | ■ Iluminat exterior<br>■ Hale largi | ■ Foarte bună eficiență luminoasă | ■ Aprinderea și reaprinderea se realizează în câteva minute |
| Sodiu la joasă presiune | ■ Iluminat exterior<br>■ Iluminat de securitate | ■ Vizibilit. bună pe timp de ceață<br>■ Economic de utilizat | ■ Durată de aprindere lungă (5 min)<br>■ Redare mediocră a culorilor |
| Halogenuri metalice | ■ Zone întinse<br>■ Hale cu plafoane înalte | ■ Eficiență luminoasă bună<br>■ Redare bună a culorilor<br>■ Durată de viață lungă | ■ Aprinderea și reaprinderea se realizează în câteva minute |
| LED | ■ Semnalizare (semafor cu 3 culori, semne EXIT și luminare de siguranță) | ■ Insensibile la un număr mare de comutări<br>■ Consum energetic scăzut<br>■ Temperatură scăzută | ■ Număr limitat de culori<br>■ Intensitate luminoasă scăzută a unei singure unități |

| Tehnologie | Putere (W) | Eficiență (Lm/W) | Durată de viață (ore) |
|---|---|---|---|
| Incandescență standard | 3 - 1.000 | 10 - 15 | 1.000 - 2.000 |
| Incandescență halogen | 5 - 500 | 15 - 25 | 2.000 - 4.000 |
| Tub fluorescent | 4 - 56 | 50 - 100 | 7.500 - 24.000 |
| Lampă fluorescentă compactă | 5 - 40 | 50 - 80 | 10.000 - 20.000 |
| Vapori de mercur la înaltă pres. | 40 - 1.000 | 25 - 55 | 16.000 - 24.000 |
| Vapori de sodiu la înaltă pres. | 35 - 1.000 | 40 - 140 | 16.000 - 24.000 |
| Vapori de sodiu la joasă pres. | 35 - 180 | 100 - 185 | 14.000 - 18.000 |
| Halogenuri metalice | 30 - 2.000 | 50 - 115 | 6.000 - 20.000 |
| LED | 0,05 - 0,1 | 10 - 30 | 40.000 – 100.000 |

*Tab. N37: Utilizarea și caracteristicile tehnice ale surselor de lumină.*

## 4.2 Caracteristicile electrice ale lămpilor

### Lămpi cu incandescență cu alimentare directă

Datorită temperaturii foarte înalte a filamentului în timpul funcționarii (până la 2500° C ), rezistența sa variază foarte mult între situația în care lampa este stinsă și situația în care lampa este aprinsă. Întrucât rezistența sa la rece este mică, la amorsare apare un vârf de curent care poate atinge de 10 - 15 ori curentul nominal, pentru mai multe ms.
Acest lucru este valabil atât pentru lămpile obișnuite cât și pentru lămpile cu halogen și impune o reducere a numărului de lămpi care pot fi acționate de către dispozitivele de comandă, cum ar fi: întreruptoare, contactoare modulare sau relee pentru bare capsulate.

### Lămpi cu halogen de foarte joasă tensiune (FJT)

■ Anumite lămpi cu halogen de puteri mici sunt alimentate cu tensiuni foarte joase de 12 sau 24 V, via un transformator sau un convertizor electronic. În cazul alimentării prin transformator, fenomenul de magnetizare se combină, la amorsare, cu cel de variație al rezistenței filamentului. Curentul de amorsare poate atinge de 50 - 75 ori curentul nominal, pentru câteva ms. Utilizarea unui variator de iluminat (dimmer) amplasat în amonte, poate reduce în mod semnificativ acest curent.
■ Pentru aceeași putere, convertizoarele electronice sunt mult mai scumpe decât soluția cu transformator. Acest handicap comercial este compensat prin avantaje legate de ușurința sporită de instalare, deoarece căldura disipată este redusă, ele pot fi amplasate chiar și pe un suport inflamabil. Mai mult, ele au încorporată și protecția termică.
Noile lămpi cu halogen de foarte joasă tensiune sunt acum disponibile cu transformator integrat în soclul lor. Ele pot fi alimentate direct și pot înlocui lămpile uzuale, fără nici o adaptare specială.

### Variația iluminării în cazul lămpilor cu incandescență

În cazul lămpilor cu incandescență, variația iluminării poate fi obținută prin variația tensiunii aplicate lămpii.
Variația tensiunii se realizează, în mod uzual de către dispozitive precum întreruptor cu Triac, prin variația unghiului de aprindere de-a lungul perioadei tensiunii. Forma de undă a tensiunii aplicate lămpii este indicată în **Fig. N38a**. Această tehnică, cunoscută sub numele de “cut-on control” este adecvată pentru alimentarea sarcinilor rezistive sau inductive. Altă tehnică adecvată pentru alimentarea circuitelor capacitive a fost dezvoltată cu componente electronice MOS și IGBT. Această tehnică variază tensiunea prin întreruperea curentului înainte de sfârșitul semiperioadei (vezi **Fig. N38b**) și este cunoscută sub numele de “cut-off control”. Aprinderea în mod treptat a unei lămpi reduce, de asemenea sau chiar elimină, vârful de curent de la amorsare.
Întrucât curentul prin lampă este distorsionat de către aprinderea electronică, se produc armonici de curent . Armonica de ordinul 3 este predominantă, iar procentajul armonicii de ordinul 3 în raport cu valoarea maximă a fundamentalei de curent (la puterea maximă) este reprezentat în **Fig. N39**.
De notat faptul că, în practică, puterea aplicată lămpii cu ajutorul dimmer-ului poate varia între 15 - 85% din puterea maximă a lămpii.

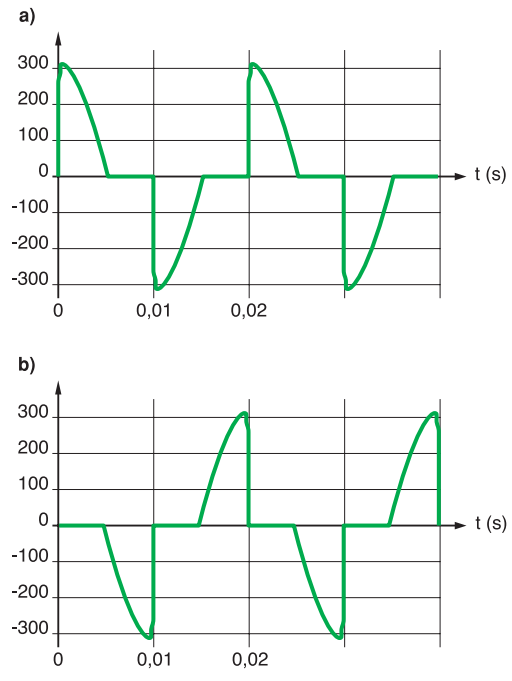



*Fig. N38: Formă de undă de tensiune de alimentare printr-un dimmer, la 50% din tensiunea maximă, cu urmatoarele tehnici:*
***[a]:** cut - on control*
***[b]:** cut - off control.*

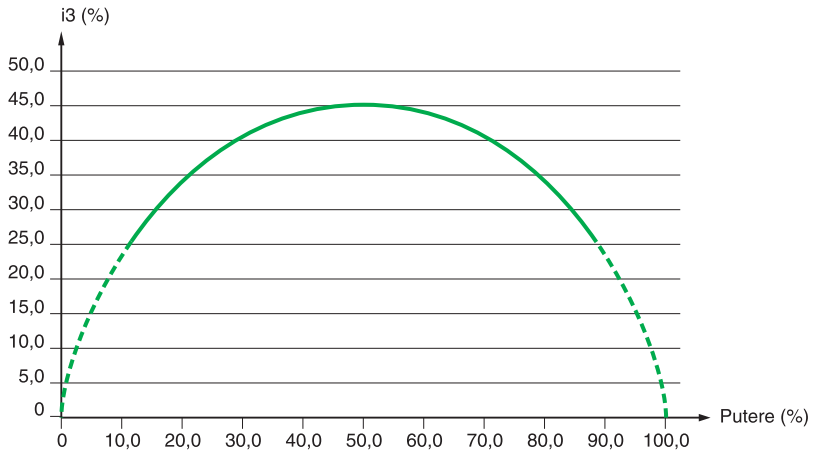


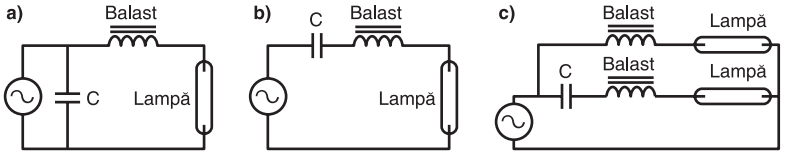

*Fig. N39: Procentajul armonicii de ordinul trei de curent în funcție de puterea aplicată unei lămpi cu incandescență utilizând un dimmer electronic.*

# 4 Circuite de iluminat

În conformitate cu standardul CEI 61000-3-2 care stabilește limitele emisiilor de armonici pentru sistemele electrice și electronice având curentul ⩽ 16 A, se aplică următoarele:
- pentru dimmerele independente pentru lămpi cu incandescență având puteri nominale mai mici sau egale cu 1 kW nu se stabilesc limite;
- pentru alte puteri sau pentru echipament de iluminat incandescent cu dimmere încorporate sau amplasate într-o carcasă, valoarea maxim admisibilă pentru armonica 3 de curent este egală cu 2,30 A.

## Lămpi fluorescente cu balast magnetic

Tuburile fluorescente și lămpile cu descărcări au nevoie ca intensitatea arcului electric să fie limitată, iar această funcție este îndeplinită de către o bobină (sau balast magnetic), amplasată în serie cu lampa (vezi **Fig. N40**).
Acest aranjament este cel mai des întâlnit în aplicațiile casnice cu un număr limitat de tuburi. Întrerupătorului care comandă aprinderea/stingererea acestor tuburi nu i se impune nici o condiție.
Variatoarele de iluminat tip dimmer nu sunt compatibile cu balasturile magnetice: anularea tensiunii pentru o fracțiune de perioadă întrerupe descărcarea și duce la stingerea lămpii.
Starterul îndeplinește două funcții: preîncălzește tubul fluorescent iar apoi, generează o supratensiune pentru a amorsa tubul. Această supratensiune este generată prin deschiderea unui contact (comandat de un întreruptor termic) care întrerupe circulația curentului prin balastul magnetic.
În timpul funcționării starterului (aprox. 1 s) curentul care circulă prin corpul de iluminat este de aproximativ 2 ori curentul nominal.
Întrucât curentul prin tub și balast este în mod esențial inductiv, factorul de putere este foarte scăzut (în medie între 0,4 și 0,5). În instalațiile alcătuite dintr-un număr mare de tuburi, este necesar să se asigure compensarea, pentru îmbunătățirea factorului de putere.
Pentru instalațiile de iluminat mari, compensarea centralizată cu baterii de condensatoare este o soluție posibilă, dar cel mai adesea acestă compensare este inclusă la nivelul fiecărui corp de iluminat, în diferite moduri (vezi **Fig. N41**).




| Mod de compensare | Aplicații | Observații |
|---|---|---|
| Fără compensare | Casnic | Un singur corp de iluminat fluorescent |
| Paralel **[a]** | Birouri, aleliere, supermarket-uri | Risc de supracurenți pentru echipamentele de comandă |
| Serie **[b]** | | Alegerea unor condensatoare cu tensiuni de funcționare înalte (450 la 480 V) |
| Duo **[c]** | | Evită flicker-ul |

*Fig. N41: Diferite moduri de compensare: **[a]** paralel, **[b]** serie; **[c]** dual serie, numită "duo", și domeniile lor de utilizare.*

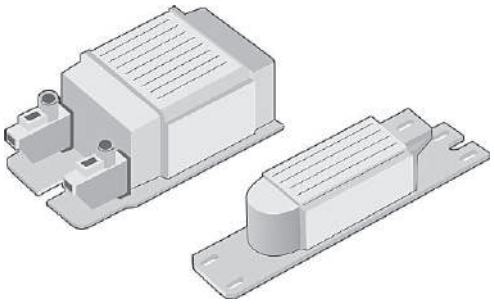


*Fig. N40: Balast magnetic.*

Condensatoarele sunt dimensionate astfel încât factorul de putere global să fie mai mare de 0,85. În cele mai uzuale cazuri de compensare paralel, capacitățile lor sunt în jur de 1 µF pentru 10 W putere activă, pentru orice tip de lampă. Totuși, această compensare este incompatibilă cu întrerupătoarele cu variatoare de lumină.

## Limitări care afectează compensarea

Dispunerea în cazul compensării paralel creează anumite limitări amorsării lămpii. Întrucât condensatoarele sunt, inițial, descărcate, conectarea lor produce supracurent. De asemenea, apare o supratensiune datorită oscilațiilor în circuit, create de capacitate și inductanța rețelei.
Următorul exemplu poate fi utilizat pentru a determina ordinele de mărime ale amplitudinii.

Presupunem un ansamblu de 50 de tuburi fluorescente de 36 W fiecare, având:
- puterea activă totală: 1800 W;
- puterea aparentă: 2 kVA;
- valoarea eficace a curentului: 9 A;
- vârful de curent: 13 A.

cu:
- capacitatea totală: C = 175 µF;
- inductanțe de linie (corespunzătoare unui curent de scurtcircuit de 5 kA): l = 150 µH.

Curentul maxim de vârf la conectare este egal cu:

$$Ic = V_{max}\sqrt{\frac{C}{L}} = 230\sqrt{2}\sqrt{\frac{175 \times 10^{-6}}{150 \times 10^{-6}}} = 350 \text{ A}$$

Curentul maxim de vârf la conectare poate atinge în acest caz de 27 de ori curentul de vârf în timpul funcționării normale.
Formele de undă de tensiune și de curent la amorsare sunt date în **Fig. N42** pentru întreruptorul care se închide în momentul în care tensiunea are valoarea maximă de vârf.
Există totuși un risc de sudare a contactelor electromecanice ale dispozitivului de comandă (întreruptor de la distanță, contactor, întreruptor) sau de distrugere în cazul întreruptoarelor statice.

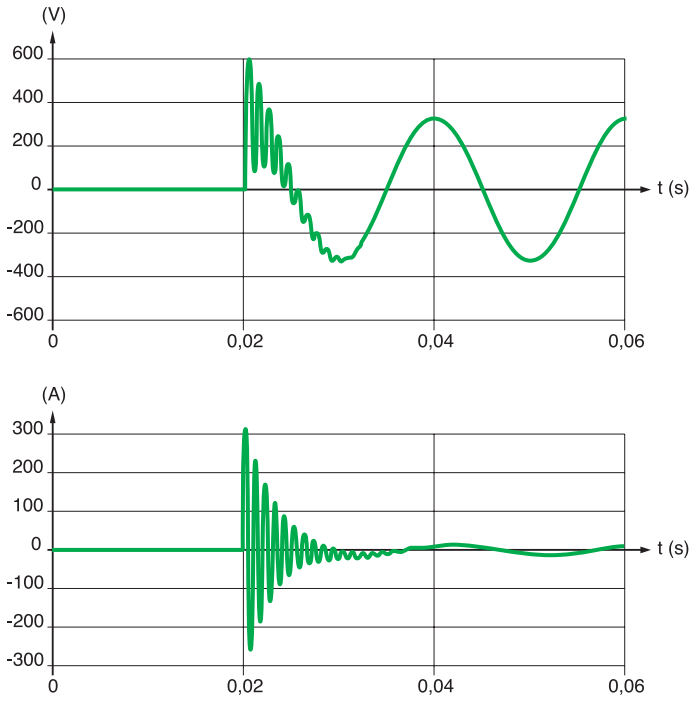



***Fig. N42:*** *Tensiunea și curenții la amorsare.*

În realitate, limitările sunt mult mai puțin severe datorită impedanței cablurilor. Amorsarea grupurilor de tuburi fluorecente are o singură limitare specifică. Când un grup de tuburi fluorescente este conectat, condensatoarele din aceste tuburi, care sunt deja energizate, contribuie la valoarea curentului de amorsare în momentul conectării celui de-al doile grup de tuburi: ele amplifică curentul de vârf din dispozitivul de comandă în momentul conectării celui de-al doilea grup.

**Tabelul N43**, rezultat din măsurători, specifică amplitudinea primului vârf de curent, pentru diferite valori prezumate de curent de scurtcircuit, $I_{sc}$. Se observă faptul că, curentul de vârf poate fi de 2 - 3 ori mai mare, în funcție de numărul de tuburi deja în funcțiune la momentul conectării unui alt grup de tuburi.

| Număr de tuburi deja în funcțiune | Număr de tuburi conectate | Curentul de vârf la amorsare (A) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $I_{sc}$ = 1.500 A | $I_{sc}$ = 3.000 A | $I_{sc}$ = 6.000 A |
| 0 | 14 | 233 | 250 | 320 |
| 14 | 14 | 558 | 556 | 575 |
| 28 | 14 | 608 | 607 | 624 |
| 42 | 14 | 618 | 616 | 632 |

*Tab. N43: Amplitudinea curentului de vârf în întreruptoarele de comandă în momentul conectării unui al doilea grup de tuburi.*

Oricum, conectarea secvențială a fiecărui grup de tuburi este recomandată, pentru a se reduce curentul de vârf în întreruptorul principal.
Cele mai recente balasturi magnetice sunt cunoscute sub denumirea de “pierderi reduse” (low-loss). Circuitul magnetic a fost optimizat, dar principiul de funcționare rămâne același. Noua generație de balasturi devine din ce în ce mai utilizată sub influența noilor reglementări (Directive Europene, Energy Policy Act - USA).
În aceste condiții, utilizarea balasturilor electronice este tot mai întâlnită în detrimentul balasturilor magnetice.

## Lămpile fluorescente cu balasturi electronice

Balasturile electronice înlocuiesc balasturile magnetice în alimentarea tuburilor fluorescente (inclusiv a lămpilor fluorescente compacte) și a lămpilor cu descărcări. Ele îndeplinesc, de asemenea, funcția de “starter” și nu au nevoie de condensator pentru compensare.
Principiul balastului electronic (vezi **Fig. N44**) constă în alimentarea arcului lămpii printr-un dispozitiv electronic care generează o formă de undă de tensiune alternativă rectangulară cu o frecvență între 20 - 60 kHz.
Alimentând arcul lămpii cu tensiune de înaltă frecvență se poate elimina total flicker-ul și efectele stroboscopice. Balastul electronic este complet silențios.
În timpul perioadei de preîncălzire a lămpii cu descărcări, acest balast alimentează lampa cu tensiune în creștere, la un curent, practic constant. În condiții normale, acesta reglează tensiunea aplicată lămpii independent de orice fluctuație de tensiune care există pe linia de alimentare.
Întrucât arcul este alimentat în condiții optime de tensiune, aceasta conduce la economii de energie cuprinse între 5 - 10% și la o creștere importantă a duratei de viață a lămpii. Mai mult, randamentul balastului electronic poate depăși 93%, în timp ce randamentul balastului magnetic este de doar 85%.
Factorul de putere este ridicat (> 0,9).
Balastul electronic este, de asemenea, utilizat pentru a îndeplini funcția de dimmer. De fapt, prin variația frecvenței, variază amplitudinea curentului arcului și, deci, intensitatea fluxului luminos.

## Curentul de amorsare

Problema principală pe care o creează balastul electronic asupra liniei de alimentare este cea a curentului mare de amorsare pe întreruptorul de conectare, conectat la sarcina inițială. (vezi **Tab. N45**).

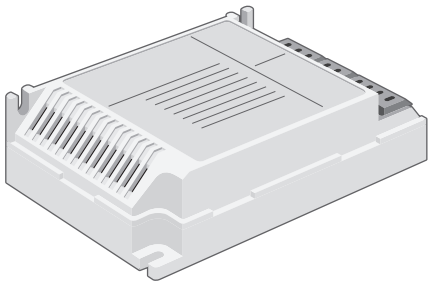


*Fig. N44: Balast electronic.*

| Tehnologia | Curentul max. la amorsare | Durată |
|---|---|---|
| Redresor cu corecția factorului de putere | 30 la 100 $I_n$ | ⩽ 1 ms |
| Redresor cu bobina | 10 la 30 $I_n$ | ⩽ 5 ms |
| Balast magnetic | ⩽ 13 $I_n$ | 5 la 10 ms |

*Tab. N45: Amplitudinea curenților de amorsare în funcție de tehnologia utilizată.*

În realitate, datorită impedanţelor conductoarelor, curenţii de amorsare pentru un ansamblu de lămpi sunt mult mai mici decât aceste valori, de cca. 5 - 10 $I_n$ pentru mai puţin de 5 ms. Spre deosebire de cazul balasturilor magnetice, acest curent de amorsare nu este însoţit de nici o supratensiune.

## Curenţii armonici

În cazul balasturilor asociate lămpilor cu descărcare, de puteri mari, curentul absorbit din reţeaua de alimentare are un factor de distorsiune armonică totală scăzut (< 20 în general şi < 10% pentru dispozitivele mai sofisticate). Din contră, balasturile asociate lămpilor de mică putere, în particular, lămpilor fluorescente compacte, produc în reţea un curent foarte distorsionat (vezi **Fig. N46**). Coeficientul total de distorsiune armonică poate atinge 150%. În aceste condiţii, valoarea eficace a curentului absorbit din reţeaua de alimentare ajunge la 1,8 ori curentul corespunzător unei lămpi de putere activă, ceea ce corespunde unui factor de putere de 0,55.

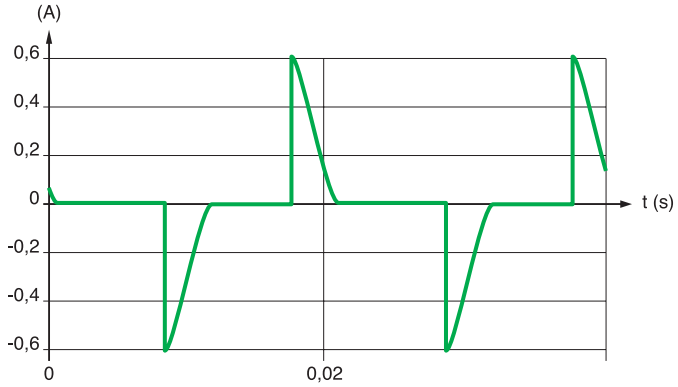



***Fig. N46*** *:Forma de curent absorbită de o lampă fluorescentă compactă.*

Pentru a echilibra sarcinile între faze circuitele de iluminat sunt, de obicei, conectate între faze şi neutru, în mod echilibrat. În aceste condiţii, nivelul ridicat al armonicii 3 şi al celor multiplu de 3 determină o suprasarcină pe conductorul neutru. Cazul cel mai defavorabil conduce la un curent pe conductorul neutru care poate atinge √3 ori curentul de pe fază.
Limitele distorsiunilor armonice pentru sistemele electrice şi electronice sunt specificate în standardul CEI 61000-3-2. Pentru simplificare, mai jos, sunt prezentate pentru echipamentele de iluminat, limitele armonicile de ordin 3 şi 5 care sunt, de altfel, cele mai relevante (vezi **Tab. N47**).

| **Ordinul armonicii** | **Putere activă > 25 W** | **Putere activă ⩽ 25 W Se aplică una din următoarele limite:** | |
|---|---|---|---|
| | % din valoarea fundamentalei de curent | % din valoarea fundamentalei de curent | Curentul armonicii relativ la puterea activă |
| 3 | 30 | 86 | 3,4 mA/W |
| 5 | 10 | 61 | 1,9 mA/W |

***Tab. N47:*** *Curentul armonic maxim admisibil.*

Balasturile electronice au, în general, condensatoare amplasate între conductoarele sursei de alimentare şi pământ. Aceste condensatoare sunt responsabile de circulaţia unui curent permanent de scurgere de ordinul a 0,5 - 1 mA/balast. De aici rezultă limitarea numărului maxim de balasturi care pot fi protejate printr-un dispozitiv de curent diferenţial rezidual.
La punerea sub tensiune, sarcina iniţială a acestor condensatoare poate, de asemenea, cauza circulaţia unui curent de vârf a cărui amplitudine poate atinge câţiva amperi pentru cca. 10 µs. Acest vârf de curent poate determina declanşări intempestive a unor dispozitive de protecţie neadecvate.

### Emisii de înaltă frecvență

Balasturile electronice sunt responsabile de anumite emisii radiante și conductoare de înaltă frecvență.
Tensiunea rapid crescătoare, aplicată conductoarelor balastului determină pulsuri de curent care circulă prin condensatoare către pământ. Ca rezultat, curenți aleatori circulă prin conductorul de protecție și prin conductoarele sursei de alimentare.
Datorită frecvenței înalte a acestor curenți, există radiație electromagnetică. Pentru a limita aceste radiații electromagnetice de înaltă frecvență, lampa trebuie amplasată în imediata vecinătate a balastului, astfel reducându-se lungimea celor mai importante conductoare radiante.

**Diferite moduri de alimentare (**vezi **Tab. N48)**

| Tehnologia | Mod de alimentare | Alte dispozitive |
|---|---|---|
| Incandescent standard | Direct de la rețea | Întreruptor cu disp. de reglare a fluxului luminos (dimmer) |
| Halogen incandescent | | |
| Halogen incandescent la TFJ | Transformator | Convertor electronic |
| Tub fluorescent | Balast magnetic și starter | Balast electronic<br>Dimmer electronic + balast |
| Lampă fluorescentă compactă | Balast electronic încorporat | |
| Vapori de mercur | Balast magnetic | Balast electronic |
| Vapori de sodiu înaltă presiune | | |
| Vapori de sodiu joasă presiune | | |
| Halogenuri metalice | | |

*Tab. N48: Diferite tipuri de alimentare a lămpilor.*

## 4.3 Limitări și recomandări referitoare la dispozitivele de iluminat

### Curentul care circulă prin lămpi

**Riscuri**
Această mărime este prima care ar trebui luată în considerare atunci când se proiectează o instalație, altfel este foarte probabil ca protecția la suprasarcină să declanșeze și să lase utilizatorii în întuneric.
Este evident faptul că, pentru determinarea sa trebuie luat în considerare consumul tuturor componentelor, în special, în cazul instalațiilor de iluminat fluorescent, întrucât puterea consumată de balast trebuie să se adauge celei a tuburilor sau a baloanelor.

**Soluție**
Pentru iluminatul incendescent trebuie amintit faptul că tensiunea de linie poate depăși valoarea sa nominală cu cca. 10%, ceea ce poate determina o creștere a curentului absorbit.
Pentru iluminatul fluorescent, dacă nu este altfel specificat, puterea balastului magnetic poate fi aproximată ca fiind cca. 25% din cea a balonului. În cazul balasturilor electronice, această putere este mai mică, cuprinsă între 5 - 10%.
Pragurile de declanșare a protecției la supracurent trebuie, prin urmare, calculate în funcție de puterea totală și de factorul de putere, mărimi calculate pentru fiecare circuit.

### Supracurenți la punerea sub tensiune

**Riscuri**
Dispozitivele utilizate pentru protecția și comanda circuitelor de iluminat sunt cele precum: relee, triace, teleruptoare, contactoare, întreruptoare.
Cea mai importantă condiție pusă acestor dispozitive este legată de vârful de curent la punerea sub tensiune.
Acest vârf de curent depinde de tehnologia lămpilor utilizate, dar, de asemenea, de caracteristicile instalației (puterea transformatorului de alimentare, lungimea cablurilor, numărul de lămpi) și de momentul conectării în raport cu perioada tensiunii de linie. Un vârf de curent de valoare mare, deși trecător, poate determina sudarea contactelor electromecanice ale dispozitivelor de comandă sau distrugerea dispozitivelor electronice (de comutare statică).

**Două soluții**

Datorită curenților la punerea sub tensiune, majoritatea releelor obișnuite sunt incompatibile cu sistemele de alimentare ale dispozitivelor de iluminat. Se fac, de obicei, următoarele recomandări:

- limitarea numărului de lămpi care urmează să fie conectate pe un circuit protejat de un singur dispozitiv de protecție, astfel încât, puterea totală să fie mai mică decât puterea maximă admisibilă a dispozitivului;
- verificarea, împreună cu producătorul, limitelor pe care acesta le stipulează pentru dispozitive. Această măsură de prevedere este în mod particular importantă atunci când se înlocuiesc lămpi cu incandescență cu lămpi fluorescent compacte.

Ca un exemplu, **Tab. N49** indică numărul maxim de tuburi fluorescente compensate care pot fi comandate de către diferite dispozitive cu curentul nominal de 16 A. De menționat faptul că numărul de tuburi comandate trebuie să fie substanțial sub numărul corespunzător puterii maxime a dispozitivelor.

| Puterea tubului (W) | Numărul de tuburi corespunzătoare puterii de 16 A x 230 V | Numărul maxim de tuburi care pot fi comandate de: | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Contactoare GC16 A CT16 A | Teleruptoare TL16 A | Întreruptoare C60-16 A |
| 18 | 204 | 15 | 50 | 112 |
| 36 | 102 | 15 | 25 | 56 |
| 58 | 63 | 10 | 16 | 34 |

*Tab. N49: Numărul de tuburi controlate este substanțial mai mic decât numărul corespunzător puterii maxime a dispozitivelor.*

Există totuși o tehnică pentru limitarea vârfului de curent la punerea sub tensiune a circuitelor cu comportare capacitivă (balasturile magnetice amplasate în paralel cu condensatoarele și balasturile electronice). Aceasta constă în a ne asigura de faptul că, conectarea circuitelor la sursa de alimentare se face la momentul trecerii prin zero a tensiunii. Numai întreruptoarele electronice oferă această posibilitate (vezi **Fig. N50a**). Această tehnică s-a dovedit a fi utilă la proiectarea circuitelor de iluminat noi.

Recent, au fost dezvoltate dispozitive cu tehnologii hibride care combină întreruptoarele electronice (care închid circuitul la trecerea prin zero a tensiunii) cu contactoarele electromecanice care, apoi, le scurtcircuitează (reducerea pierderilor în semiconductoare, vezi **Fig. N50b**).

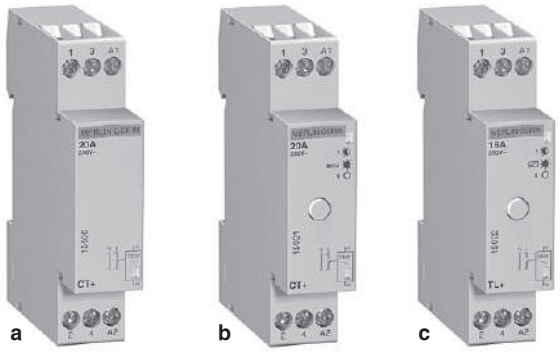



*Fig. N50: CT standard + contactor **[a]**. CT+ contactor cu acționare manuală, buton pentru selectarea modului de funcționare și indicator cu lampă care arată modul de operare ales **[b]**, și Merlin Gerin - Gama TL + întreruptor de comandă de la distanță **[c]**.*

# 4 Circuite de iluminat

**Numărul maxim de lămpi care pot fi comandate de un teleruptor Merlin Gerin TL 16 și TL 32 A (alimentate la 230 V, tensiune monofazată)**

| Tipul de lampă | Puterea lămpii (W) | TL 16A | TL 32A |
|---|---|---|---|
| Incandescent standard | 40 | 40 | 106 |
| | 60 | 25 | 66 |
| | 75 | 20 | 53 |
| | 100 | 16 | 42 |
| | 200 | 8 | 21 |
| | **Putere totală** | **1600 W** | **4260 W** |
| Halogen incandescent | 300 | 5 | 13 |
| | 500 | 3 | 8 |
| | 1000 | 1 | 4 |
| | 1500 | 1 | 2 |
| | **Putere totală** | **1500 W** | **4000 W** |
| Halogen la foarte joasă tensiune | 20 | 70 | 180 |
| | 50 | 28 | 74 |
| | 75 | 19 | 50 |
| | 100 | 14 | 37 |
| | **Putere totală** | **1400 W** | **3700 W** |
| Tub fluorescent necompensat | 18 | 70 | 186 |
| | 36 | 35 | 73 |
| | 58 | 21 | 55 |
| | **Putere totală** | **1300 W** | **3400 W** |
| Tub fluorescent compensat | 18 | 50 | 133 |
| | 36 | 25 | 66 |
| | 58 | 16 | 42 |
| | **Putere totală** | **930 W** | **2400 W** |
| Lampă fluorescentă dublă compensată | 2x18 | 56 | 148 |
| | 2x36 | 28 | 74 |
| | 2x58 | 17 | 45 |
| | **Putere totală** | **2000 W** | **5300 W** |
| Lampă fluorescentă cu balast electronic | 16 | 80 | 212 |
| | 32 | 40 | 106 |
| | 50 | 26 | 69 |
| | **Putere totală** | **1300 W** | **3400 W** |
| Lampă fluorescentă dublă cu balast electronic | 2x16 | 40 | 106 |
| | 2x32 | 20 | 53 |
| | 2x50 | 13 | 34 |
| | **Putere totală** | **1300 W** | **3400 W** |
| Sodiu de joasă presiune | 55 | 24 | 63 |
| | 90 | 15 | 40 |
| | 135 | 10 | 26 |
| | 180 | 7 | 18 |
| | **Putere totală** | **1300 W** | **3400 W** |
| Sodiu înaltă presiune, Halogenuri metalice | 250 | 5 | 13 |
| | 400 | 3 | 8 |
| | 1000 | 1 | 3 |
| | **Putere totală** | **1300 W** | **3400 W** |

***Tab. N51:*** *Numărul maxim de lămpi controlate de către dispozitive Merlin Gerin TL16 A și TL 32 A.*

**Numărul maxim de lămpi care pot fi comandate de către contactoare Telemecanique GC și Merlin Gerin CT (alimentate la 230 V, tensiune monofazată)**

| Tipul de | Puterea lămpii (W) | GC16A CT16A | GC25A CT25A | GC40A CT40A | GC63A CT63A |
|---|---|---|---|---|---|
| Incandescent standard | 40 | 38 | 57 | 115 | 172 |
| | 60 | 30 | 45 | 85 | 125 |
| | 75 | 25 | 38 | 70 | 100 |
| | 100 | 19 | 28 | 50 | 73 |
| | 150 | 12 | 18 | 35 | 50 |
| | 200 | 10 | 14 | 26 | 37 |
| Halogen incandescent | 300 | 7 | 10 | 18 | 25 |
| | 500 | 4 | 6 | 10 | 15 |
| | 1000 | 2 | 3 | 6 | 8 |
| Halogen la foarte joasă tensiune | 20 | 15 | 23 | 42 | 63 |
| | 50 | 10 | 15 | 27 | 42 |
| | 75 | 8 | 12 | 23 | 35 |
| | 100 | 6 | 9 | 18 | 27 |
| Tub fluorescent necompensat | 18 | 22 | 30 | 70 | 100 |
| | 36 | 20 | 28 | 60 | 90 |
| | 58 | 13 | 17 | 35 | 56 |
| Tub fluorescent compensat | 18 | 15 | 20 | 40 | 60 |
| | 36 | 15 | 20 | 40 | 60 |
| | 58 | 10 | 15 | 30 | 43 |
| Lampă fluorescentă dublă compensată | 2x18 | 30 | 46 | 80 | 123 |
| | 2x36 | 17 | 25 | 43 | 67 |
| | 2x58 | 10 | 16 | 27 | 42 |
| Lampă fluorescentă cu balast electronic | 18 | 74 | 111 | 222 | 333 |
| | 36 | 38 | 58 | 117 | 176 |
| | 58 | 25 | 37 | 74 | 111 |
| Lampă fluorescentă dublă cu balast electronic | 2x18 | 36 | 55 | 111 | 166 |
| | 2x36 | 20 | 30 | 60 | 90 |
| | 2x58 | 12 | 19 | 38 | 57 |
| Sodiu de joasă presiune | 18 | 14 | 21 | 40 | 60 |
| | 35 | 3 | 5 | 10 | 15 |
| | 55 | 3 | 5 | 10 | 15 |
| | 90 | 2 | 4 | 8 | 11 |
| | 135 | 1 | 2 | 5 | 7 |
| | 180 | 1 | 2 | 4 | 6 |
| Sodiu înaltă presiune, Halogenuri metalice | 70 | 6 | 9 | 18 | 25 |
| | 150 | 6 | 9 | 18 | 25 |
| | 250 | 2 | 4 | 8 | 12 |
| | 400 | 2 | 3 | 6 | 9 |
| | 1000 | 1 | 2 | 4 | 6 |

***Tab. N52:*** *Numărul maxim de lămpi comandate de contactoare Telemecanique GC și Merlin Gerin CT.*

# 4 Circuite de iluminat

**Numărul maxim de balasturi protejate de întreruptoare Merlin Gerin C60N / C120 N (numărul de corpuri de iluminat pe fază alimentate la 230/400 V)**
Datele urmatoare (vezi **Tab. N53**) sunt date considerând curba D de declanșare a întreruptorului (pragul magnetic reglat între 10 și 14 $I_n$), ceea ce permite conectarea unui număr maxim de corpuri de iluminat, asigurând o protecție termică sigură și eliminând riscurile de declanșare intempestivă la punerea sub tensiune.

| Echipament | Puterea tubului (W) | Curentul nominal al întreruptorului automat (A) | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 6 | 10 | 16 | 20 | 25 | 32 | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 |
| Balast magnetic necompensat | 18 | 4 | 9 | 14 | 29 | 49 | 78 | 98 | 122 | 157 | 196 | | | | |
| | 36 | 2 | 4 | 7 | 14 | 24 | 39 | 49 | 61 | 78 | 98 | | | | |
| | 58 | 1 | 3 | 4 | 9 | 15 | 24 | 30 | 38 | 48 | 60 | | | | |
| Balast magnetic compensat | 18 | 7 | 14 | 21 | 42 | 70 | 112 | 140 | 175 | 225 | 281 | 351 | 443 | 562 | 703 |
| | 36 | 3 | 7 | 10 | 21 | 35 | 56 | 70 | 87 | 112 | 140 | 175 | 221 | 281 | 351 |
| | 58 | 2 | 4 | 6 | 13 | 21 | 34 | 43 | 54 | 69 | 87 | 109 | 137 | 174 | 218 |
| | 2x18 | 3 | 7 | 10 | 21 | 35 | 58 | 70 | 87 | 112 | 140 | 175 | 221 | 281 | 351 |
| | 2x36 | 1 | 3 | 5 | 10 | 17 | 26 | 35 | 43 | 56 | 70 | 87 | 110 | 140 | 175 |
| | 2x58 | 1 | 2 | 3 | 6 | 10 | 17 | 21 | 27 | 34 | 43 | 54 | 68 | 87 | 109 |
| Balast electronic | 18 | 5 | 11 | 17 | 35 | 58 | 93 | 117 | 146 | 186 | 230 | 290 | 366 | | |
| | 36 | 4 | 8 | 13 | 26 | 43 | 71 | 90 | 113 | 144 | 179 | 226 | 284 | | |
| | 58 | 2 | 5 | 10 | 20 | 33 | 58 | 68 | 85 | 109 | 136 | 171 | 215 | | |
| | 2x18 | 4 | 8 | 13 | 26 | 43 | 71 | 90 | 113 | 144 | 179 | 226 | 184 | | |
| | 2x36 | 2 | 5 | 8 | 15 | 26 | 44 | 55 | 69 | 88 | 110 | 137 | 173 | | |
| | 2x58 | 1 | 5 | 5 | 11 | 18 | 30 | 38 | 47 | 61 | 76 | 95 | 120 | | |

*Tab. N53: Numărul maxim de balasturi care pot fi conectate pe un circuit protejat de întreruptor Merlin Gerin tip C60N / C120N.*

## Suprasarcina pe conductorul neutru

### Riscuri

Într-o instalație care cuprinde, de exemplu, numeroase tuburi fluorescente cu balast electronic alimentate între o fază și neutru, armonicile de ordin 3 și multiplu de 3 pot determina suprasarcină pe conductorul neutru.
**Tabelul N54** de mai jos prezintă valorile procentuale ale armonicii 3, din valoarea fundamentalei de curent, create de iluminat.

| Tipul lămpii | Puterea tipică | Modul de funcționare | Val. tipică a armonicii 3 |
|---|---|---|---|
| Lampă cu incandescență cu dimmer | 100 W | Variația nivelului de iluminare (dimmer) | 5 la 45% |
| Lampă cu incandescență la foarte joasă tensiune | 25 W | Transformator electronic de foarte joasă tensiune | 5% |
| Tub fluorescent | 100 W | Balast magnetic | 10% |
| | < 25 W | Balast electronic | 85% |
| | > 25 W | + compensare | 30% |
| Lampă cu descărcare | 100 W | Balast magnetic | 10% |
| | | Balast electronic | 30% |

*Tab. N54: Valori ale armonicii 3 create de iluminat.*

### Soluție

În primul rând, utilizarea unui conductor de neutru cu secțiunea jumătate din secțiunea conductorului de fază este interzisă, așa cum este indicat în Standardul de Instalare CEI 60364, secțiunea 523-5-3.
În ceea ce privește dispozitivele de protecție, este necesar să se utilizeze dispozitive tetrapolare cu protecție pe nul (cu excepția sistemelor TN-C în care conductorul PEN, îndeplinind și funcția de conductor de protecție, nu poate fi întrerupt). Acest tip de dispozitiv poate fi utilizat pentru întreruperea tuturor polilor în cazul apariției unui defect, fenomen necesar când se alimentează corpuri de iluminat la tensiunea dintre faze.
Dispozitivul de întrerupere a circuitului trebuie, prin urmare, să întrerupă faza și nulul, în același timp.

## Curenţii de scurgere către pământ

**Riscuri**

La conectare, capacităţile către pământ ale balasturilor electronice pot duce la producerea unor vârfuri de curent rezidual care la rândul lor pot determina declanşări intempestive ale dispozitivelor de protecţie.

**Două soluţii**

Utilizarea dispozitivelor de curent diferenţial rezidual care asigură protecţie împotriva acestor impulsuri de curent este recomandată, chiar esenţială, atunci când se echipează o instalaţie existentă. (vezi **Fig. N55**).
Pentru o instalaţie nouă, pot fi utilizate dispozitive de control electronice sau hibride (contactoare, teleruptoare) care reduc aceste impulsuri de curent (cuplarea se face în momentul trecerii prin zero a tensiunii).

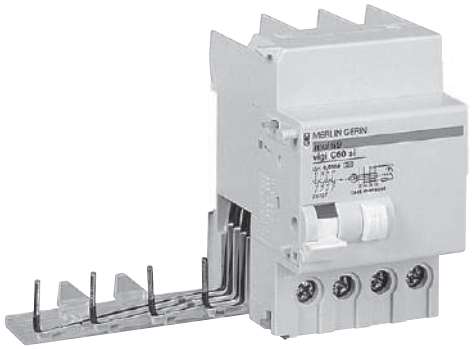



*Fig. N55: Dispozitive de protecţie împotriva curentului rezidual care asigură imunitate împotriva impulsurilor de curent (marcă Merlin Gerin).*

## Supratensiuni

**Riscuri**

Aşa cum s-a arătat într-o secţiune anterioară, conectarea circuitelor de iluminat determină un regim tranzitoriu care se caracterizează printr-un supracurent important. Acest supracurent duce la o fluctuaţie importantă a tensiunii aplicate la bornele sarcinii conectate pe acelaşi circuit.
Aceste fluctuaţii pot influenţa funcţionarea corectă a sarcinilor sensibile (calculatoare, controllere de temperatură, etc.).

**Soluţia**

Este recomandabil să se separe sursa de alimentare pentru aceste sarcini sensibile de sursa de alimentare a circuitelor de iluminat.

## Sensibilitatea dispozitivelor de iluminat la perturbaţiile de tensiune

**Întreruperile scurte**

■ Riscuri

În cazul întreruperii tensiunii de alimentare, lămpile cu descărcare au nevoie de un timp de reaprindere de câteva minute.

■ Soluţia

Poate fi realizat un iluminat parţial, utilizând lămpi cu reaprindere instantanee (lămpi cu incandescenţă sau tuburi fluorescente, lămpi cu descărcare cu “reaprindere caldă”), dacă cerinţele de siguranţă o impun. Circuitul său de alimentare va fi, în funcţie de norme, distinct de cel care alimentează sistemul principal de iluminat.

**Fluctuaţiile de tensiune**

■ Riscuri

Majoritatea dispozitivelor de iluminat (cu excepţia lămpilor alimentate cu balasturi electronice) sunt sensibile la fluctuaţiile rapide de tensiune. Aceste fluctuaţii determină fenomenul de flicker care este neplăcut pentru utilizatori şi poate cauza probleme importante. Aceste probleme depind atât de frecvenţa fluctuaţiilor cât şi de amplitudinea acestora.
Standardul CEI 61000-2-2 (Nivelele de compatibilitate pentru perturbaţii de joasă frecvenţă) specifică amplitudinea maximă admisă a variaţiilor de tensiune în funcţie de numărul de variaţii pe secundă sau pe minut.
Aceste fluctuaţii de tensiune sunt determinate, în principal, de fluctuaţiile sarcinilor de puteri mari (cuptoare cu arc, maşini de sudură, porniri de motoare).

■ Soluție
Pot fi utilizate metode speciale pentru reducerea fluctuațiilor de tensiune. Nemaivorbind de faptul că, este recomandabil, acolo unde este posibil să se alimenteze circuitele de iluminat printr-o sursă independentă. Pentru anumite aplicații, este recomandată utilizarea lămpilor cu balasturi electronice (spitale, camere curate, săli de inspectare, săli de computere, etc.).

### Dezvoltări în echipamentele de comandă și protecție

Utilizarea variatoarelor de iluminat (dimmer-elor) este din ce în ce mai des întâlnită. Cerințele legate de amorsare sunt reduse iar declasarea echipamentelor de control și protecție este mai puțin importantă. Au fost introduse noi dispozitive de protecție adaptate condițiilor impuse de către circuitele de iluminat, de exemplu, întreruptoarele Merlin Gerin și dispozitivele modulare de protecție împotriva curentului rezidual cu imunitate specială, cum sunt întreruptoarele ID și tipul s.i. de întreruptoare Vigi. Cum echipamentele de comandă și protecție evoluează, anumiți producători pot prezenta o ofertă nouă referitoare la teleruptoare, dispozitive de management 24 ore, dispozitive pentru comanda iluminatului, reducerea consumului de energie, etc.

## 4.4 Sisteme de iluminat în spații publice

### Iluminatul normal

Reglementările care stipulează cerințele minime de îndeplinit pentru clădirile publice, în majoritatea țărilor Europene sunt următoarele:
■ sistemele de iluminat amplasate în zone accesibile publicului trebuie să fie comandate și protejate independent față de sistemele de iluminat dedicate altor spații;
■ pierderea alimentării unui circuit de iluminat final (de ex.: funcționarea fuzibilelor sau declanșarea întreruptorului) nu trebuie să conducă la lipsa completă a iluminării în zone destinate să primească mai mult de 50 de persoane;
■ protecția prin dispozitive de curent diferențial rezidual (RCD) trebuie să fie realizată de mai multe astfel de dispozitive (trebuie utilizat mai mult decât un singur dispozitiv).

### Iluminatul de siguranță

Acest subiect include iluminatul semnelor și direcțiilor de ieșire de siguranță și, de asemenea, iluminatul de siguranță ambiental.

**Marcarea ieșirilor de siguranță**
În zonele în care pot exista mai mult de 50 de persoane, trebuie să existe indicatoare luminoase ale direcțiilor de deplasare pentru ieșirile de siguranță.

**Iluminatul general de siguranță**
Iluminatul general este obligatoriu în zone care pot primi mai mult de 100 de persoane (sau mai mult de 50 de persoane în zone de subsol).
Un defect pe un circuit de iluminat nu trebuie să afecteze nici un alt circuit:
■ selectivitatea releelor de protecție la supracurenți și la curenți reziduali trebuie să fie totală, astfel încât va fi întrerupt doar circuitul cu defect;
■ instalația trebuie să aibă sistemul IT sau trebuie să fie în clasă II, adică dublu izolată.

**Surse de alimentare pentru iluminatul de siguranță**
Sursele de alimentare pentru sistemele de iluminat de siguranță trebuie să fie capabile să mențină alimentarea tuturor lămpilor în cazul cel mai defavorabil care s-ar putea întâmpla, care, pentru o perioadă stabilită, să asigure evacuarea totală din zona respectivă, dar minimum o oră.

### Compatibilitatea între iluminatul de siguranță și alte părți ale instalației

Sursele de iluminat de siguranță trebuie să alimenteze, exclusiv circuitele instalate pentru funcționare în situații de urgență.
Sistemele de iluminat standby funcționează pentru a menține iluminatul în cazul întreruperii circuitelor de iluminat normal (în general, în situații care nu sunt de urgență). Totuși, întreruperea iluminatului normal trebuie, în mod automat, să determine intrarea în funcțiune a iluminatului de siguranță.
Sursele centralizate pot fi, de asemenea, utilizate pentru alimentarea de siguranță dacă următoarele condiții sunt simultan îndeplinite:
■ acolo unde există mai multe surse, căderea uneia trebuie să permită, totuși, existența unei capacități de alimentare suficiente pentru menținerea alimentării tuturor sistemele de siguranță, eventual prin deconectarea consumatorilor neprioritari (dacă este necesar);
■ căderea unei surse sau a unui echipament care vizează siguranța nu trebuie să afecteze celelalte surse și echipamente de siguranță;
■ orice echipament de siguranță trebuie să primească alimentare de la orice sursă.

## Clasificarea iluminatului de siguranţă

Multe ţări au reglementări statutare referitoare la siguranţa în clădiri şi în zone cu aglomerări de persoane.
Clasificarea acestor zone conduce la determinarea unor tipuri de soluţii adecvate şi autorizează utilizarea schemelor de iluminat de siguranţă pentru diferite spaţii.
Clasificarea următoare este tipică:

**Tip A**
În prezenţa publicului, lămpile sunt alimentate permanent şi în totalitate de la o sursă centrală de alimentare (baterie sau grup electrogen). Aceste circuite trebuie să fie independente de oricare altele[1].

**Tip B**
În prezenţa publicului, lămpile sunt alimentate permanent fie:
- prin baterii la care lămpile sunt permanent conectate şi care se alimentează permanent de la o sursă normală de alimentare, fie
- printr-un grup electrogen ale cărui caracteristici asigură alimentarea sarcinilor prioritare, într-o secundă (din momentul în care generatorul funcţionează şi alimentează iluminatul de siguranţă), în eventualitatea căderii sursei normale, fie
- unităţi autonome aprinse, în mod normal, permanent, care sunt alimentate de la sursa normală de alimentare şi rămân aprinse (cel puţin pentru o oră) la pierderea alimentării normale, datorită bateriilor proprii încorporate. Aceste baterii se încarcă în timpul funcţionării normale. Astfel de unităţi autonome sunt, în general, echipate cu tuburi fluorescente pentru iluminatul permanent de siguranţă şi lămpi fluorescente sau cu incandescenţă pentru marcarea semnelor de EXIT şi a direcţiilor de deplasare în caz de urgenţă. Circuitele pentru toate lămpile de siguranţă trebuie să fie independente faţă de alte circuite[1].

**Tip C**
Lămpile pot fi alimentate sau nu în condiţii normale, iar dacă sunt alimentate sursa de alimentare poate fi sursă de alimentare a iluminatului normal sau sursă de alimentare a iluminatului de siguranţă.
- Bateriile iluminatului de siguranţă trebuie să fie menţinute încărcate de la sursa normală printr-un sistem automat de încărcare, asigurând astfel o capacitate minimă de alimentare pentru întreg sistemul de iluminat de siguranţă de cel puţin o oră.
- Grupul-generator trebuie să fie capabil să alimenteze întregul sistem de iluminat de siguranţă în mai puţin de 15 secunde de la căderea sursei de alimentare normale. Puterea necesară pornirii motorului este asigurată de baterii, capabile să facă faţă la 6 încercări de pornire, sau de un sistem de aer comprimat. O rezervă minimă de energie în cele două sisteme trebuie să fie menţinută automat.
- Căderea sursei de alimentare de siguranţă trebuie să fie detectată dintr-un număr suficient de puncte ale instalaţiei şi semnalizată corespunzător personalului de întreţinere
- Unităţile autonome pot fi pentru iluminat permanent sau nepermanent. Circuitele tuturor lămpilor de siguranţă trebuie să fie independente de oricare alte circuite[2].

**Tip D**
Acest tip de iluminat de siguranţă se referă la corpuri de iluminat cu baterii, portabile, puse la dispoziţia personalului de întreţinere sau a publicului.

---

**Notă:**
În România, se vor respecta reglementările referitoare la iluminatul de siguranţă cuprinse în normativul NP-I7/2002, capitolul 7.13.



***(1)*** *În cazul unei surse centrale de alimentare de siguranţă circuitele aferente tipurilor A şi B trebuie să fie rezistente la foc. Tuburile, dozele de derivaţie, etc. trebuie să satisfacă standardele naţionale şi testele de încălzire sau, circuitele trebuie amplasate în astfel de tuburi de protecţie, etc. capabile să asigure performanţe satisfăcătoare în eventualitatea unui incendiu, pentru cel puţin o oră.*
***(2)*** *Conductoarele circuitelor aferente tipului C nu trebuie să îndeplinească condiţiile stipulate la* ***(1)****.*

# 5 Motoare asincrone

*Motorul asincron (cu inducție) este robust, fiabil și foarte larg utilizat. 95% din motoarele instalate în întreaga lume sunt asincrone. Protecția acestor motoare este, în consecință, un subiect de mare importanță în numeroase aplicații.*

Consecințele unei protecții incorecte a unui motor pot include următoarele aspecte nedorite:
- pentru persoane:
  - asfixierea datorită blocării unui motor de ventilație,
  - electrocutarea datorită defectelor de izolație în motor,
  - accidente datorate neopririi motorului în cazul defectării circuitelor sale de comandă în cazul unei protecții incorecte la supracurenți;
- pentru mecanismul acționat de motor și pentru procesul respectiv:
  - deteriorări ale cuplajelor, axului, etc, datorită funcționării motorului cu rotorul calat,
  - pierderi de producție,
  - întârzierea termenelor de fabricație;
- pentru motor:
  - arderea înfășurărilor motorului în cazul calării rotorului,
  - costuri pentru reparație,
  - costuri pentru înlocuirea sau demontarea și remontarea motorului.

Prin urmare, siguranța persoanelor și a bunurilor ca și gradul de fiabilitate și de disponibilitate al instalației sunt criterii importante care influențează alegerea dispozitivelor de protecție.
Economic vorbind, trebuie luat în considerare costul total al unei defecțiuni a motorului; pierderile sunt cu atât mai mari cu cât motorul este mai mare și cu cât accesul la el este mai dificil. Pierderea producției este, fără îndoială un alt factor foarte important de luat în considerare.
Caracteristicile specifice ale performanțelor motorului influențează stabilirea circuitului de alimentare, în scopul unei funcționări corecte a acestuia.
Un circuit de alimentare al unui motor respectă anumite condiții care nu se întâlnesc, în mod obișnuit în cazul altor circuite de distribuție și care țin de caracteristicile particulare specifice motorului, precum:
- curentul de pornire mare (vezi **Fig. N56**) care este în mare măsură reactiv și care determină o cădere de tensiune importantă;
- numărul și frecvența pornirilor;
- curentul de pornire ridicat înseamnă de fapt că dispozitivul de protecție la suprasarcină trebuie să aibă astfel de caracteristici încât să nu declanșeze pe perioada de pornire a motorului.

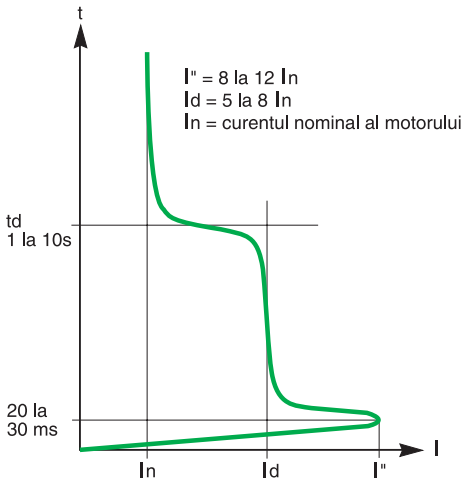



*Fig. N56: Caracteristica de curent în cazul pornirii directe pentru un motor asincron.*

## 5.1 Funcțiile necesare unui circuit de motor

Funcțiile asigurate de un circuit de motor sunt :
- Funcții de bază care includ:
  - posibilitatea de separare,
  - comanda motorului (locală sau de la distanță),
  - protecția împotriva scurtcircuitului,
  - protecția împotriva suprasarcinii;
- Protecții complementare, care includ:
  - protecția termică prin măsurarea directă a temperaturii înfășurărilor,
  - protecția termică prin determinarea indirectă a temperaturii înfășurărilor,
  - controlul permanent al rezistenței de izolație,
  - funcții de protecție specifice ansamblului motor-mecanism acționat;
- Echipamente specifice de comandă incluzând:
  - sisteme electromecanice de pornire a motorului,
  - dispozitive de protecție și comandă (CPS),
  - soft-startere,
  - variatoare de viteză.

### Funcții de bază

**Posibilități de separare**
Pentru siguranța personalului de exploatare în timpul acțiunilor de întreținere este necesară separarea circuitelor, parțial sau total, de la sursa lor de alimentare.
Funcția de “separare” este realizată de către separatoare. Acestă funcție poate fi realizată și de alte dispozitive proiectate pentru a asigura separarea, precum întreruptoare automate cu aptitudine de separare.

**Comanda motorului**
Funcția de comandă a motorului este cea care realizează pornirea și frânarea motorului. În cazul comenzilor manuale, această funcție poate fi îndeplinită de întreruptoare speciale pentru motor sau separatoare.
În cazul comenzii de la distanță această funcție poate fi îndeplinită de contactoare, soft-startere (CPS).
Funcția de comandă poate fi inițiată, de asemenea, și prin alte mijloace:
- protecția la suprasarcină;
- protecții complementare;
- declanșatoare la minimă tensiune (necesare în cazul multor mașini).

Funcția de comandă poate fi, de asemenea, realizată de către echipamente de comandă specifice.

**Protecţia împotriva scurtcircuitelor**

■ Scurtcircuitul bifazat

Acest tip de defect în interiorul motorului este foarte rar. El se datorează, în general, unor defecte mecanice ale cablului de alimentare al motorului.

■ Scurtcircuit fază/pământ

Cauza principală pentru acest defect este deteriorarea izolaţiei înfăşurărilor. Curentul de defect care rezultă depinde de sistemul de tratare al neutrului. În sistemele TN, curentul de defect este foarte mare şi, în majoritatea cazurilor, motorul va fi deteriorat. În cazul altor sisteme, protecţia motorului se poate realiza utilizând dispozitive de protecţie împotriva punerilor la pământ.

Pentru protecţia la scurtcircuit este recomandabil să se acorde o atenţie specială evitării declanşărilor intempestive în timpul perioadei de pornire a motorului. Curenţii de pornire în cazul motoarelor standard sunt de cca. 6 - 8 ori curentul nominal dar, în cazul unui defect, curentul poate atinge de 15 ori valoarea curentului nominal. Deci curentul de pornire nu trebuie să fie privit ca un curent de defect de către protecţie. În plus, un defect care se produce pe circuitul motorului nu trebuie să afecteze circuitele din amonte. În consecinţă, condiţiile protecţiilor magnetice de selectivitate şi sensibilitate cu toate părţile instalaţiei trebuiesc îndeplinite.

**Protecţia la suprasarcină**

Suprasarcinile mecanice ale sarcinii motorului sunt cauza principală de suprasarcină în cazul aplicaţiilor de tip motor. Acestea determină supracurenţi de sarcină şi supraîncălzirea motorului. Durata de viaţă a motorului poate fi micşorată şi, uneori, motorul poate fi deteriorat. Prin urmare, este necesar să se detecteze suprasarcinile motorului. Această protecţie poate fi realizată de către:

■ relee termice de suprasarcină specifice;

■ întreruptoare termo-magnetice speciale, numite în mod uzual “întreruptoare motor”;

■ protecţii complementare (a se vedea mai jos) ca: relee electronice multifuncţionale sau senzori de temperatură;

■ soft-startere electronice sau variatoare de viteză (a se vedea mai jos).

## Protecţii complementare

■ Protecţia termică prin măsurarea directă a temperaturii înfăşurărilor. Realizată de către senzori termici (termorezistenţe) încorporaţi în înfăşurările motorului ce lucrează împreună cu relee asociate.

■ Protecţia termică prin determinarea indirectă a temperaturii înfăşurărilor. Realizată de către relee multifuncţionale prin măsurări de curent şi ţinând cont de caracteristicile motorului.

■ Controlul permanent al rezistenţei de izolaţie cu ajutorul releelor speciale sau a releelor de curent diferenţial rezidual. Aceste echipamente realizează detectarea şi protecţia împotriva scurgerilor de curent către pământ şi a scurtcircuitului cu pământul, permiţând astfel intervenţii de întreţinere înainte de distrugerea motorului.

■ Funcţii specifice de protecţie a motorului, cum ar fi protecţia împotriva unei durate de pornire prea lungi sau împotriva calării rotorului, protecţia împotriva dezechilibrului fazelor, a pierderii unei faze, protecţia împotriva punerii la pământ, protecţia la mersul în gol, protecţia împotriva blocării rotorului (în timpul pornirii sau după); prealarme pentru semnalizarea supraîncălzirii, comunicaţie, pot fi realizate de către relee multifuncţionale.

## Echipamente specifice de comandă

■ Echipamente electromecanice pentru pornire (stea-triunghi, autotransformator, starter reostatic rotor, etc.). Ele sunt utlizate, în general, pentru aplicaţii care pe perioada pornirii nu prezintă sarcini mecanice (pompe, ventilatoare, maşini-unelte, etc.).

☐ avantaje

Raport bun cuplu/curent; reducere importantă a curentului la pornire.

☐ dezavantaje

Cuplu mic pe perioada pornirii; nici o posibilitate de modificare; puterea este întreruptă în timpul fenomenelor tranzitorii; pentru conectare sunt necesare 6 conductoare.

■ Dispozitive de comandă şi protecţie (CPS)

Ele realizează toate funcţiile de bază menţionate anterior într-un singur dispozitiv, inclusiv anumite funcţii complementare şi de comunicaţie. Aceste dispozitive realizează, de asemenea, continuitatea serviciilor în caz de scurtcircuit.

■ Demaroare soft-starter

Utilizate pentru aplicaţii cu pompe, ventilatoare, compresoare, benzi transportoare.

☐ avantaje

Limitarea vârfului de curent, a căderii de tensiune, a limitărilor mecanice în timpul pornirii motorului, protecţie termică încorporată, dispozitive de dimensiuni mici, posibilităţi de comunicaţie.

☐ dezavantaje

Cuplu redus pe perioada pornirii, disipare mare de căldură.

■ Variatoare de viteză
Sunt utilizate pentru aplicații cu pompe, ventiloatoare, compresoare, benzi transportoare, mașini având cuplu de sarcină mare, mașini cu inerție mare.
☐ avantaje
Variație în mod continuu a turației motorului (de la 2 la 130% din turația nominală), posibilitate de depășire a turației maxime; reglajul precis al accelerării și decelerării; cuplu ridicat pe perioadele de pornire și oprire; curent de pornire mic, protecție termică încorporată, posibilități de comunicație.
☐ dezavantaje
Disipare de căldură, volum, cost.

## 5.2 Standarde

Protecția și comanda motorului se pot realiza în diverse feluri:
■ utlizând o asociere de dispozitive de protecție la scurtcircuit (SCPD) și dispozitive electromecanice precum:
☐ starter electromecanic, în conformitate cu CEI 60947-4-1,
☐ starter electronic, în conformitate cu CEI 60947-4-2,
☐ variator de viteză, în conformitate cu seriile CEI 61800;
■ utilizând un CPS, un singur dispozitiv care realizează toate funcțiile de bază, în conformitate cu CEI 60947-6-2.

În descrierile de mai jos s-au analizat doar circuitele de motor care includ dispozitive electromecanice precum: startere și protecții împotriva scurtcircuitului. Dispozitivele în conformitate cu CEI 60947-6-2, starterele electronice și variatoarele de viteză sunt considerate doar ca informare.
Un circuit de motor îndeplinește condițiile din CEI 60947-4-1 și în principal:
■ coordonarea între dispozitivele de protecție și comandă ale circuitului motor;
■ clasa de declanșare a releelor termice;
■ categoria de utilizare a contactoarelor;
■ coordonarea izolației.
**Notă:** Prima și ultima condiție sunt satisfăcute în mod inerent de către dispozitive care sunt în conformitate cu CEI 60947-6-2 deoarece acestea asigură continuitatea funcționării.

### Standardizarea asocierii întreruptor + contactor + releu termic

**Categoria de utilizare a contactoarelor**
Standardul CEI 60947-4-1 prezintă categoriile de utilizare care ușurează considerabil alegerea contactorului potrivit pentru o aplicație dată. Categoriile de utilizare se referă la:
■ o gamă de funcții pentru care contactorul trebuie adaptat;
■ curentul de rupere necesar și capacitatea de închidere;
■ valorile standard de sarcină pentru testele de durabilitate, în conformitate cu categoria de utilizare.
**Tabelul N57** prezintă câteva exemple tipice de categorii de utilizare.

| Categoria de utilizare | Caracteristicile aplicației |
|---|---|
| AC-1 | Sarcini neinductive (sau slab inductive): cos φ ⩾ 0,95 (încălzire, distribuție) |
| AC-2 | Pornirea sau frânarea motoarelor cu inele |
| AC-3 | Motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit: pornirea sau oprirea motorului |
| AC-4 | Motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit: pornire, mers în impulsuri, schimbare de sens |

*Tab. N57: Categorii de utilizare pentru contactoare.*

**Notă:** Aceste categorii de utilizare sunt adaptate dispozitivelor care sunt în conformitate cu alte standarde. De exemplu, categoria AC-3 devine AC-53 pentru startere electronice (CEI 60947-4-2) și devine AC-43 pentru CPS (CEI 60947-6-2).

**Tipuri de coordonare**
Pentru fiecare asociere de dispozitive este menţionat un anumit tip de coordonare, în funcţie de starea în care se vor găsi părţile componente în urma unei declanşări datorate unui defect sau a deconectării unui contactor din motive de suprasarcină.
Standardul CEI 60947-4-1 defineşte două tipuri de coordonări, tipul 1 şi tipul 2, care stabilesc limitele maxime admisibile de deteriorare a dispozitivelor în caz de scurtcircuit.
Oricare ar fi tipul de coordonare, este obligatoriu ca ansamblul dispozitivelor utilizate pentru pornirea motorului sau contactorul să nu creeze niciodată un pericol pentru personalul de exploatare şi pentru instalaţie. Particularităţile celor două tipuri de coordonare sunt:
■ Tip 1
Deteriorarea ansamblului dispozitivelor utilizate pentru pornirea motorului este acceptabilă după un scurtcircuit, astfel încât acesta poate funcţiona din nou în urma unor reparaţii sau înlocuiri parţiale.
■ Tip 2
Arderea şi riscul sudării contactelor contactorului sunt singurele riscuri admise.

**Ce tip de coordonare se alege ?**
Alegerea tipului de coordonare depinde de parametrii de exploatare şi trebuie ales pentru a satisface (în mod optim) nevoile utilizatorului şi costurile instalaţiei.
■ Tipul 1
☐ personal calificat de întreţinere,
☐ volum şi cost reduse pentru dispozitivele de comutaţie,
☐ nu pot fi utilizate ulterior unui scurtcircuit fără operaţiuni de reparaţii sau înlocuire.
■ Tipul 2
☐ pentru utilizare după un scurtcircuit sunt necesare doar măsuri uşoare de întreţinere

## 5.3 Aplicaţii

Comanda şi protecţia unui motor se pot realiza cu unul, două, trei sau patru aparate diferite care să îndeplinească diferite funcţiuni.
În cazul utilizării mai multor dispozitive este esenţială coordonarea între acestea, pentru a obţine o protecţie optimă a motorului.
Pentru a proteja un circuit motor, trebuie luaţi în considerare mai mulţi parametri, în funcţie de:
■ aplicaţie (tipul mecanismului, siguranţa funcţionării, numărul de operaţii, etc.);
■ necesitatea continuităţii funcţionării impuse de aplicaţie;
■ standardele utilizate pentru a se asigura siguranţa şi securitatea.
Funcţiile electrice de realizat sunt diferite:
■ pornirea, funcţionarea normală şi oprirea fără declanşări intempestive atât timp cât întreţinerea se face în conformitate cu cerinţele impuse, numărul de operaţii, cerinţele de durabilitate şi siguranţă (oprirea de urgenţă), ca şi protecţia circuitului şi a motorului, deconectarea (separarea) în scop de asigurare a protecţiei personalului în timpul operaţiunilor de întreţinere.

*Dintre diferitele metode de protecţie a unui motor, asocierea întreruptor + contactor + releu termic(1) are cele mai multe avantaje.*

### Schema protecţiei de bază: întreruptor + contactor + releu termic

**Avantaje**
Combinaţia de dispozitive uşurează activitatea de instalare ca şi operaţiunile de întreţinere şi exploatare prin:
■ reducerea sarcinii operaţiunii de întreţinere: utilizarea întreruptorului în loc de fuzibile elimină necesitatea de a înlocui, în caz de defect, fuzibilele şi, de asemenea, necesitatea de a deţine un stoc de fuzibile (de diferite tipuri şi mărimi);
■ perfomanţe mai bune în ceea ce priveşte continuitatea serviciilor: instalaţia poate fi pusă imediat sub tensiune după eliminarea defectului şi după verificarea stării ansamblului care asigură pornirea motorului;
■ dispozitive suplimentare complementare necesare, uneori, unui circuit motor pot fi cu uşurinţă adaptate;
■ întreruperea celor trei faze este totdeauna asigurată (prin urmare, se evită posibilitatea funcţionării în două faze);
■ posibilitatea de a întrerupe curentul nominal (cu ajutorul întreruptorului) în cazul unei defecţiuni la contactor, de exemplu, sudura contactelor;
■ posibilităţi de interblocaj;
■ diverse comenzi şi semnalizări la distanţă.

*(1) Combinaţia unui contactor cu un releu termic este uzual cunoscută sub numele de “discontactor”.*

■ mai bună protectie a ansamblului care asigură pornirea motorului în caz de supracurent și, în particular, pentru scurtcircuitul impedant(1) corespunzător unui curent de cca. 30 de ori curentul nominal al motorului $I_n$ (vezi **Fig. N58**);
■ posibilități de utilizare a dispozitivelor de curent diferențial rezidual:
☐ pentru prevenirea riscului de incendiu (sensibilitatea ⩽ 500 mA),
☐ pentru prevenirea deteriorării motorului (scurtcircuit la tolele laminate) prin detectarea la timp a curentului rezidual (sensibilitate de la 300 mA la 30 A).

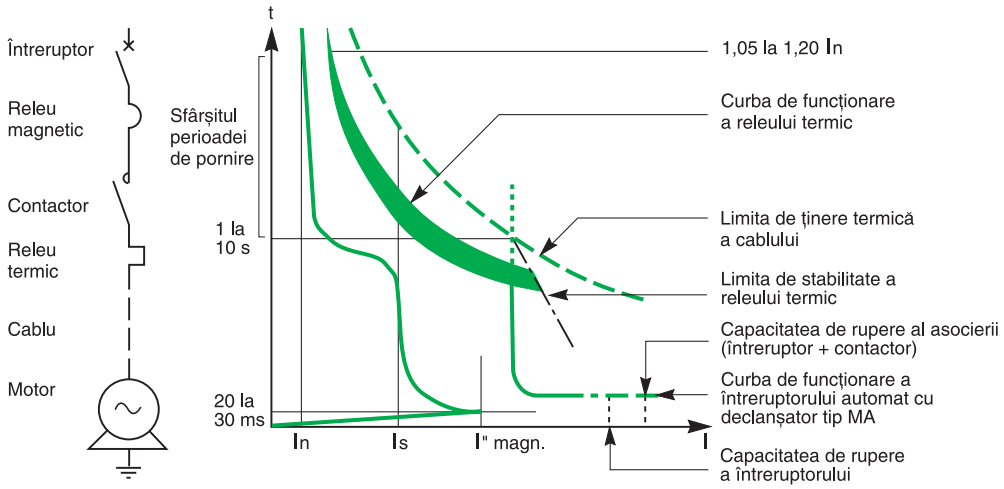



*Fig. N58: Caracteristicile de declanșare a asocierii întreruptor + contactor + releu termic(1).*

**Concluzii**
Asocierea întreruptor + contactor + releu termic pentru comanda și protecția circuitelor de motor sunt adecvate atunci când:
■ serviciul de întreținere pentru instalație este redus, ceea ce este, în general, cazul intreprinderilor industriale mici și mijlocii și al aplicațiilor din domeniul terțiar;
■ specificațiile funcționării impun și alte funcții;
■ există o cerință funcțională legată de ușurința întreruperii alimentării în eventualitatea unei operațiuni de întreținere.

## Puncte cheie în succesul asocierii unui întreruptor cu un discontactor

Standardele definesc în mod precis elementele care trebuie luate în considerare pentru a realiza o corectă coordonare de tip 2:
■ compatibilitatea absolută între releul termic al discontactorului și declanșatorul magnetic al întreruptorului. În **Fig. N59** releul termic este protejat dacă limita sa de ținere termică este plasată la dreapta curbei de declanșare magnetică a întreruptorului. În cazul unui "întreruptor-motor " care încorporează ambele relee de protecție (magnetic și termic), coordonarea este realizată încă din faza de construcție a întreruptorului;

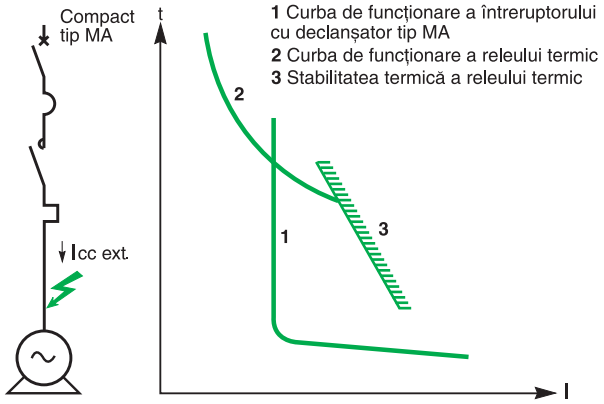



*Fig. N59: Stabilitatea termică a releului termic trebuie să se situeze în dreapta caracteristicii de declanșare magnetică a întreruptorului.*

*(1) În majoritatea cazurilor, defectele de scurtcircuit se produc la nivelul motorului, de aceea curentul este limitat de cablu și de cablajul ansamblului de pornire al motorului și este denumit curent de scurtcircuit impedant.*

■ capacitatea de rupere a contactorului trebuie să fie mai mare decât curentul corespunzător reglajului releului magnetic al întreruptorului automat;
■ când suportă un scurtcircuit, comportamentul contactorului și al releului termic trebuie să fie în conformitate cu cerințele specificate de respectivul tip de coordonare.

*Nu este posibilă stabilirea capacității de rupere al unei asocieri întreruptor + contactor. Doar teste de laborator ale producătorului permit aceasta. Prin urmare, Schneider Electric prezintă tabele referitoare la asocierea unui întreruptor Multi 9 sau Compact tip MA, cu diferite tipuri de dispozitive de pornire a motoarelor.*

## Capacitatea de rupere în cazul asocierii unui întreruptor cu un contactor sau al unui ansamblu de pornire al motorului

În studii, capacitatea de rupere care trebuie comparată cu valoarea curentului de scurtcircuit prezumat este:
■ fie cea asocierii întreruptor + contactor, dacă întreruptorul și contactorul sunt, din punct de vedere fizic, apropiate (vezi **Fig. N60**) (același compartiment în dulapul de protecție a motorului). Un scurtcircuit în aval de aceasta asociere va fi limitat de către impedanțele contactorului și releului termic. Această asociere poate fi, prin urmare, utilizată pe un circuit la care nivelul curentului prezumat depășește capacitatea de rupere a întreruptorului. Această caracteristică prezintă deseori avantaje economice semnificative.
■ sau, numai cea a întreruptorului, caz în care contactorul este amplasat separat de întreruptor (vezi **Fig. N61**), cu riscul unui scurtcircuit între ansamblul de pornire al motorului și întreruptor.

## Alegerea releului magnetic instantaneu al întreruptorului

În cazul acestui releu, pragul de funcționare nu trebuie să fie niciodată mai mic decât $12\,I_n$, pentru a se evita declanșările intempestive datorate vârfului de curent din momentul pornirii.

## Protecții complementare

Protecțiile complementare sunt:
■ senzori termici în motor (la nivelul înfășurărilor, țevilor de răcire, suporților, etc.);
■ protecțiile multifuncționale (asocieri de funcții);
■ dispozitive pentru detectarea defectelor de izolație la motorul în funcțiune sau în repaus.

### Senzori termici

Senzorii termici sunt utilizați pentru a detecta creșteri de temperaturi anormale în motor, prin măsurări directe. Senzorii termici sunt, în general, incluși în înfășurarea statorică (în cazul motoarelor de joasă tensiune), semnalul fiind procesat de un dispozitiv de control asociat care acționează contactorul sau întreruptorul în sensul deconectării (vezi **Fig. N62**).

### Relee multifuncționale pentru protecția motorului

Releele multifuncționale, asociate cu senzori și module de semnalizare realizează protecția motorului și, de asemenea, anumite funcții precum:
■ protecția la suprasarcină;
■ rotor calat sau perioadă de pornire prea lungă;
■ protecția împotriva supraîncălzirii;
■ protecția împotriva dezechilibrului fazelor, a pierderii unei faze, sau a inversării sensului de rotație;
■ protecția împotriva defectului la pământ (cu ajutorul dispozitivelor de curent diferențial rezidual);
■ protecția împotriva funcționării în gol, a blocării rotorului la pornire.

Avantajele sunt esențiale:
■ o protecție completă, realizând funcții de monitorizare și comandă permanente, sigure și de înaltă performanță;
■ monitorizarea eficientă a tuturor momentelor de funcționare ale motorului
■ alarme și semnalizări;
■ posibilități de comunicație prin bus-uri de comunicație.

**Exemplu:** Releul Telemecanique LT6 cu funcții de comandă și monitorizare permanente și cu comunicația via bus de comunicație, sau unitatea de comandă multifuncțională LUCM cu modulul de comunicație pentru Tesys modelul U.

### Protecția preventivă a motoarelor în repaus

Această protecție se referă la monitorizarea nivelului rezistenței de izolație a unui motor în repaus, evitându-se astfel consecințele nedorite ale existenței unui defect de izolație în timpul funcționării motorului, și anume:
■ ratări ale pornirii sau funcționarea incorectă a motoarelor utilizate în sistemele de siguranță;
■ pierderi de producție.

Acest tip de protecție este indispensabil în cazul proceselor vitale și a sistemelor de siguranță, în special atunci când acestea sunt instalate în locații umede sau/și cu praf. Astfel de protecții evită distrugerea motorului în cazul scurtcircuitului cu pământul produs pe perioada pornirii (unul dintre cele mai des întâlnite defecte) prin semnalizări de prevenire asupra faptului că sunt necesare operațiuni de întreținere asupra motorului, în scopul asigurării condițiilor optime de funcționare.

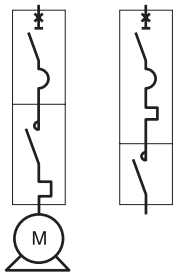



***Fig. N60:*** *Întreruptor și contactor montate în același compartiment.*

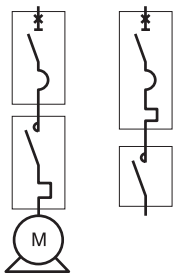



***Fig. N61:*** *Întreruptor și contactor montate separat.*

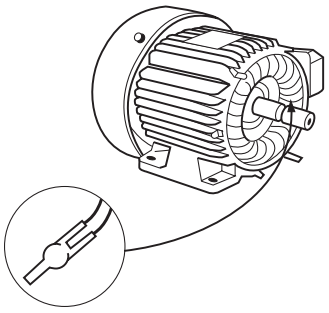


***Fig. N62:*** *Protecția la supraîncălzire cu senzori termici.*

# 5 Motoare asincrone

**Exemplu de aplicație:**
Sistem de protecție împotriva incendiului cu “sprinklere”, pompe pentru irigații pentru utilizare sezonieră, etc.
Sistemul Vigilohm SM21 (Merlin Gerin) monitorizează izolația motorului și semnalizează auditiv și vizual orice reducere anormală a nivelului rezistenței de izolație. Mai mult, acest releu poate împiedica, la nevoie, orice încercare de a porni motorul (vezi **Fig. N63**).

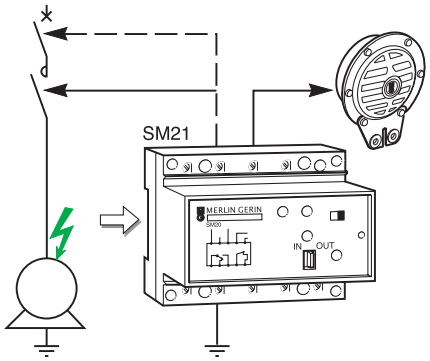



*Fig. N63: Protecție preventivă a motoarelor în repaus.*

**Protecții limitatoare**
Dispozitivele de curent diferențial rezidual pot fi foarte sensibile și pot detecta valori scăzute pentru scurgerile de curent care se produc atunci când apar deteriorări de izolație (de natură fizică, contaminare, umiditate excesivă, etc.). Anumite game de dispozitive de curent diferențial rezidual, cu contacte uscate, special proiectate pentru astfel de aplicații realizează următoarele:
- evitarea distrugerii motorului (prin perforarea sau scurtcircuitarea tolelor magnetice ale statorului) determinată de eventuale arcuri electrice către pământ. Această protecție poate detecta condițiile de defect din faza incipientă prin funcționarea în cazul scurgerilor de curent, în gama de la 300 mA la 30 A, în funcție de mărimea motorului (sensibilitate aproximativă: 5% In);
- reducerea riscului de incendiu: sensibilitate ⩽ 500 mA.

De exemplu, releul RH99M (Merlin Gerin) (vezi **Fig. N64**) asigură:
- 5 nivele de sensibilitate (0,3; 1; 3; 10 și 30 A);
- posibilități de realizare a selectivității protecțiilor prin utilizarea unor posibilități de funcționare particulare, în virtutea a trei posibile temporizări (0; 90 și 250 ms);
- funcționarea automată dacă circuitul cuprins între transformatorul de curent și releu este întrerupt;
- protecția împotriva funcționării în caz de defect;
- izolația componentelor circuitului de c.c: clasa A.

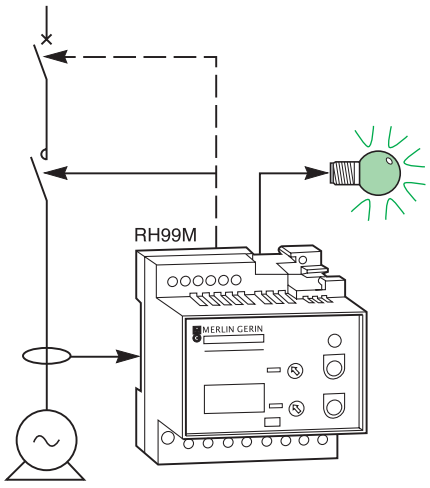



*Fig. N64: Exemplu utilizând releul RH99M.*

**Importanța limitării căderii de tensiune la motor pe perioada pornirii**
Pentru ca un motor să pornească și să accelereze la turația normală într-un timp corect, cuplul motorului trebuie să depășească cuplul de sarcină cu cel puțin 70%. Totuși, curentul de pornire este mult mai mare decât curentul nominal al motorului. Ca rezultat, în cazul în care căderea de tensiune este foarte mare, cuplul motorului va fi redus în mod semnificativ (fiind proporțional cu $U^2$) și, prin urmare, la extrem, pornirea este ratată.
Exemplu:
- la o tensiune menținută de 400 V la bornele motorului, cuplul sau ar fi de 2,1 ori cuplul de sarcină;
- în cazul unei căderi de tensiune de 10% pe perioada pornirii, cuplul motorului ar fi $2,1 \times 0,9^2 = 1,7$ ori cuplul de sarcină, prin urmare, motorul va accelera până la turația sa nominală în mod normal;
- în cazul unei căderi de tensiune de 15% pe perioada pornirii, cuplul motorului ar fi $2,1 \times 0,85^2 = 1,5$ ori cuplul de sarcină, astfel încât, timpul de pornire va fi mai lung decât cel normal.

În general, în timpul perioadei de pornire a motorului, este recomandată o cădere maximă de tensiune de 10% $U_n$.

## 5.4 Puteri nominale maxime ale motoarelor asincrone alimentate la joasă tensiune

Perturbațiile determinate în rețelele de distribuție de joasă tensiune în timpul pornirii directe a unor motoare de puteri mari pot avea, ocazional, influențe negative importante asupra consumatorilor vecini, astfel încât, autoritățile furnizoare au reguli stricte în vederea aducerii acestor perturbații la nivele acceptabile. Nivelul de perturbații creat de un motor depinde de puterea rețelei, adică de valoarea curentului de scurtcircuit în punctul respectiv. Cu cât aceasta este mai mare, cu atât mai puternică este rețeaua și influențele sunt mai scăzute (în special căderea de tensiune) asupra consumatorilor vecini. Pentru rețelele de distribuție din multe țări, valorile tipice admisibile pentru curenții de pornire și, corespunzător, puterile nominale maxime admisibile pentru motoare cu pornire directă sunt indicate în **Tabelele N65** și **N66** de mai jos.

| Tipul de motor | Amplasare | Curentul maxim de pornire (A) | |
|---|---|---|---|
| | | Rețea aeriană | Rețea subterană |
| Monofazat | Locuințe | 45 | 45 |
| | Altele | 100 | 200 |
| Trifazat | Locuințe | 60 | 60 |
| | Altele | 125 | 250 |

*Tab. N65: Valorile maxime admisibile pentru curenții de pornire în cazul motoarelor cu pornire directă alimentate la joasă tensiune (230/400 V).*

| Amplasare | | Tipul de motor | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Monofazat 230 V (kW) | Trifazat 400 V | |
| | | | Pornire directă la sarcină nominală (kW) | Alte metode de pornire ameliorată (kW) |
| Locuințe | | 1,4 | 5,5 | 11 |
| Altele | Rețea aeriană | 3 | 11 | 22 |
| | Rețea subterană | 5,5 | 22 | 45 |

*Tab. N66: Puterile nominale maxim admisibile pentru motoarele cu pornire directă alimentate la joasă tensiune.*

Totuși, chiar în zonele alimentate de un singur furnizor, există porțiuni slabe și porțiuni puternice ale rețelei și, de aceea, este recomandabil ca, înainte de achiziționarea unui motor pentru un proiect nou, să se solicite acceptul furnizorului de electricitate.
Există și alte metode (în general, mai costisitoare) pentru pornirea motoarelor care generează curenți de pornire de valori sensibil mai mici; de exemplu, stea-triunghi, motoare cu inele, dispozitive electronice de pornire tip soft-starter, etc.

## 5.5 Compensarea energiei reactive (corecția factorului de putere)

Metodele pentru compensarea energiei reactive sunt indicate în capitolul L.

# Capitolul P
# Zone rezidențiale și alte spații speciale

## Cuprins


| | | |
|---|---|---|
| 1 | **Zone de locuit și similare** | **P2** |
| | 1.1 General | P2 |
| | 1.2 Componentele tablourilor de distribuție | P2 |
| | 1.3 Protecția persoanelor | P4 |
| | 1.4 Circuite | P6 |
| | 1.5 Protecția împotriva supratensiunilor și loviturilor de trăsnet | P7 |
| 2 | **Camere de baie și dușuri** | **P8** |
| | 2.1 Clasificarea zonelor | P8 |
| | 2.2 Legătura echipotențială | P11 |
| | 2.3 Cerințe pentru fiecare zonă | P11 |
| 3 | **Recomandări aplicabile instalațiilor și locațiilor speciale** | **P12** |

# 1 Zone de locuit și similare

*Instalațiile electrice pentru zonele de locuit necesită un standard ridicat de siguranță și fiabilitate.*

## 1.1 General

### Standarde de referință

Cele mai multe țări au reglementări și standarde naționale care cer respectarea strictă a regulamentelor privind proiectarea și realizarea instalațiilor electrice pentru zonele de locuințe sau similare. Standardul internațional în acest sens este publicația CEI 60364.

*Autoritatea de distribuție a energiei electrice leagă punctul neutru de JT al transformatorului MT/JT la pământ. În consecință, toate instalațiile de JT trebuie protejate prin dispozitive RCD(1). Toate masele care, accidental pot fi puse sub tensiune, trebuie conectate împreună și la priza de pământ.*
***(1)** RCD (Residual Current Device - Dispozitiv de curent diferențial rezidual).*

### Rețeaua de alimentare

În majoritatea cazurilor, furnizorii de energie electrică leagă punctul de neutru pe partea de JT al transformatorului de distribuție MT/JT la pământ. Protecția la șocul electric al persoanelor depinde, în acest caz, de principiile enunțate în capitolul F. Măsurile de protecție necesare depind de tipul schemei de tratare a neutrului aleasă, respectiv TT, TN sau IT.
Pentru instalațiile în scheme TT sau IT sunt esențiale utilizarea dispozitivelor RCD, în timp ce pentru întreruperea punerilor la pământ în schemele TN, sunt utilizate dispozitive ultrarapide. În orice caz, în situații deosebite sunt recomandate releele RCD pentru instalațiile alimentate în schema TN, fiind singurul mijloc de protecție la șocuri electrice, atunci când dintr-o priză se alimentează conductoare foarte lungi, de secțiune redusă.

*Calitatea echipamentului electric utilizat în locuințe se asigură printr-o marcă de conformitate situată pe placa frontală a fiecărui obiect.*

## 1.2 Componentele tablourilor de distribuție (vezi **Fig. P1**)

Tablourile de distribuție (în general, unul singur în zonele de locuit) includ de obicei aparatul (aparatele) de măsură și, în unele cazuri (îndeosebi acolo unde autoritățile impun schemaTT și/sau condiții de tarifare care limitează consumul de curent la o valoare maximă permisă) un întreruptor automat cu protecție diferențială, care include un declanșator de supracurent. Acest întreruptor automat este accesibil pentru manevre și consumatorului.

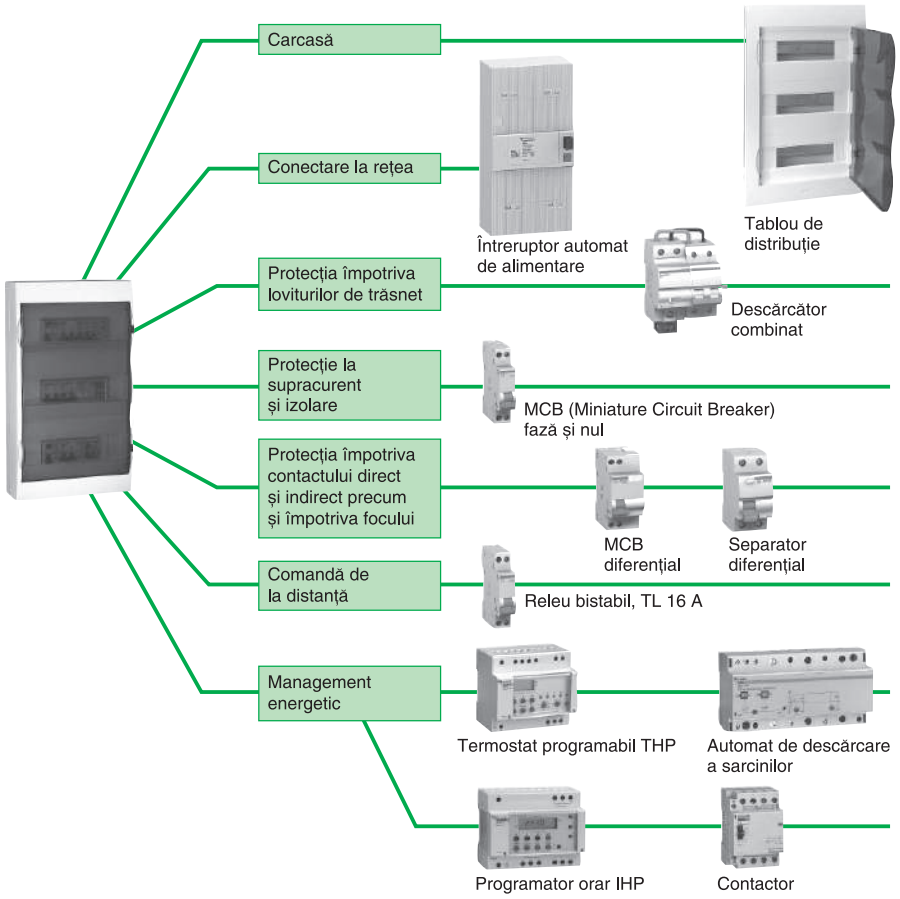



***Fig. P1:** Prezentarea componentelor unui tablou de distribuție.*

La instalațiile cu legare la pământ în schema TN autoritățile protejează în mod obișnuit instalația printr-o siguranță sigilată, care este montată imediat în amonte de aparatele de măsură (vezi **Fig. P2**). Consumatorul nu are acces la aceste siguranțe.

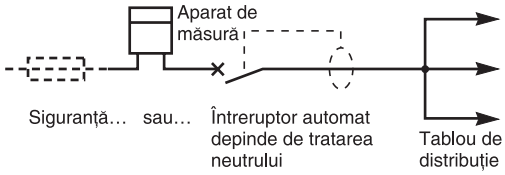



*Fig. P2: Componente ale unui tablou electric de distribuție și control.*

*Fig. P3: Întreruptor automat sosire (de branșament).*

## Întreruptorul automat principal sosire (de branșament) (vezi **Fig. P3**)

Consumatorului îi este permis, ca în caz de necesitate, să acționeze acest întreruptor (de exemplu pentru reanclanșare atunci când consumul de curent a depășit limita autorizată; pentru deconectare în caz de urgență sau în scopul realizării separației).
Declanșatorul diferențial al întreruptorului automat (de intrare) de alimentare trebuie reglat la 300 mA.
Dacă instalația este TT, priza de pământ trebuie să aibă rezistența de dispersie mai mică decât $R = \frac{50\ V}{300\ mA} = 166\ \Omega$. În practică rezistența de dispersie a unei instalații noi trebuie să fie mai mică decât 80 Ω ($\frac{R}{2}$).

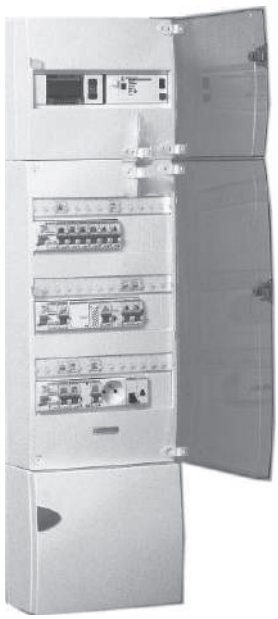


*Fig. P4: Tablou electric de distribuție și control.*

## Tablou de distribuție și control (la consumator) (vezi **Fig. P4**)

Acest tablou cuprinde:
- un panou de comandă pe care este montat, acolo unde este cazul, întreruptorul automat sosire (de alimentare) și auxiliarele necesare;
- un panou de distribuție care conține 1, 2 sau 3 rânduri (pentru 24 module de Multi9) sau unități similare de întreruptoare automate sau siguranțe fuzibile, etc.;
- accesorii pentru fixarea conductoarelor și șinelor pentru montarea întreruptoarelor automate, soclurilor de siguranțe, barei de neutru și barei de legare la pământ, etc;
- canale sau tuburi de protecție pentru cablurile de serviciu, montate aparent sau în canale de cablu încastrate în perete.

**Notă:** pentru a facilita modificări ulterioare în instalație se recomandă păstrarea tuturor documentelor relevante (fotografii, scheme, caracteristici, etc.) într-un loc corespunzător din apropierea tabloului de distribuție.
Tabloul va fi instalat la o astfel de înălțime, încât butoanele de operare, cadranele indicatoare ale aparatelor de măsură să se situeze între 1 m și 1,80 m față de pardoseală (sau 1,30 m în situațiile care privesc persoane handicapate sau în vârstă).

## Descărcătoare

Instalarea descărcătoarelor într-o instalație electrică de JT este recomandată în mod deosebit pentru acele instalații care conțin consumatori sensibili (ex. electronice). Aceste dispozitive trebuie să se autodeconecteze singure în mod automat în caz de defect, sau trebuie protejate de un MCB. În cazul instalațiilor din locuințe, utilizarea pe sosire a unui întreruptor automat cu diferențial de 300 mA, tip S (ușor temporizat) va furniza în mod efectiv protecția de punere la pământ și, în același timp, nu va declanșa de fiecare dată când descărcătorul va descărca un curent (sau o supratensiune tranzitorie) la pământ.

## Rezistența de dispersie a prizei de pământ.

În cazul în care rezistența de dispersie a prizei de pământ depășește 80 Ω, unul sau mai multe RCD-uri de 30 mA trebuiesc utilizate în locul protecției de punere la pământ a întreruptorului automat de sosire.

*Dacă, într-o schemă TT, valoarea corespondentă a 80 Ω pentru rezistența de dispersie a prizei de pământ nu poate fi atinsă, atunci un RCD de 30 mA trebuie instalat pentru a prelua funcția de protecție împotriva punerilor la pământ de la întreruptorul automat de alimentare.*

# 1 Zone de locuit și similare

*În schemele de alimentare cu energie electrică de tip TT se impune prin standard, pentru protecția persoanelor, utilizarea dispozitivelor RCD.*

## 1.3 Protecția persoanelor

În schema de tratare a neutrului TT protecția persoanelor este asigurată prin următoarele măsuri:

- Protecție contra atingerii indirecte prin RCD (vezi **Fig. P5**) de sensibilitate medie (300 mA), montate la intrarea instalației (încorporate în întreruptorul automat de intrare în tablou sau la intrarea alimentării în tabloul de distribuție). Această măsură se asociază cu instalarea unei prize de pământ la consumator la care se vor conecta conductoarele de protecție (PE) de la părțile conductoare expuse ale tuturor echipamentelor cu izolație de clasă I, precum și cele ale contactelor de legare la pământ ale tuturor prizelor;
- Atunci când întreruptorul automat de la intrarea instalației nu este prevăzut cu protecție RCD, protecția persoanelor va fi asigurată printr-un nivel de izolație clasă II, în toate circuitele situate în amonte de primele dispozitive RCD. În cazul în care tabloul de distribuție este metalic trebuie avut grijă ca toate părțile active să fie dublu izolate (distanțe de izolație sau izolații suplimentare, utilizarea capacelor, etc.) și cablurile să fie fixate în mod corespunzător;
- Protecția obligatorie prin dispozitive RCD sensibile (30 mA) a circuitelor de priză a circuitelor de alimentare a băilor, spălătoriilor, etc. (detalii în acest sens în tabelul de la subcapitolul 3 din acest capitol).

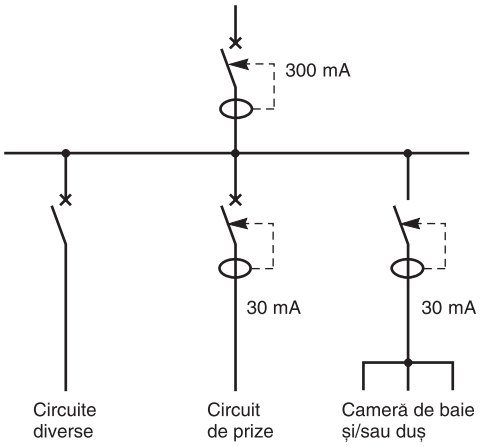



*Fig. P5: Instalație cu întreruptorul automat sosire echipat cu protecție diferențială instantanee.*

### Intreruptor automat de sosire prevăzut cu releu diferențial instantaneu

În acest caz:

- un defect de izolație la pământ poate duce la scoaterea din funcțiune a întregii instalații;
- acolo unde sunt instalate descărcătoare, funcționarea acestora (descărcarea unui întreruptor automat spre pământ) poate apare pentru RCD ca o punere la pământ, având drept urmare scoaterea din funcțiune a instalației.

**Recomandări de componente adecvate marca Merlin Gerin**

- întreruptor automat principal de sosire în tablou de 300 mA și
- RCD de tipul DDR-HS 30 mA (de exemplu, întreruptor automat diferential 1P+N, tip DPNA Vigi) pe circuitele care alimentează prize de racord;
- RCD de tipul DDR-HS 30 mA (de exemplu, separator diferențial de sarcină tip RCCB-ID) pe circuitele aferente băilor, camerelor de duș, spălătorii, etc.) pentru circuitele de lumină, încălzire, prize de racord.

## Întreruptor automat de sosire tip S cu releu diferențial temporizat (de branșament)

Acest tip de întreruptor automat oferă protecție la defectele de izolație față de pământ, însă datorită unei temporizări cu durată redusă, asigură un grad de selectivitate față de releul de curent rezidual (RCD) instantaneu din aval. Declanșarea întreruptorului de intrare în tablou și consecințele acesteia (asupra congelatoarelor, de exemplu) devine prin aceasta mai puțin probabilă în cazul unui trăsnet sau supratensiuni de altă natură. În acest fel, amorsarea la pământ a curentului datorat supratensiunii prin descărcător nu va afecta întreruptorul.

**Recomandări de componente adecvate marca Merlin Gerin (**vezi **Fig. P6)**

- întreruptor automat principal de sosire în tablou (de branșament) de 300 mA cu diferențial de tip S și
- RCD de tipul DDR-HS 30 mA (de exemplu, întreruptor automat diferențial 1P+N, tip DPNA Vigi) pe circuitele care alimentează mașini de spălat rufe și mașini de spălat vase;
- RCD de tipul DDR-HS 30 mA (de exemplu, separator diferențial de sarcină tip RCCB-ID) pe circuitele aferente băilor, camerelor de duș, spălătorii, etc.) pentru circuitele de lumină, încălzire, prize de racord.

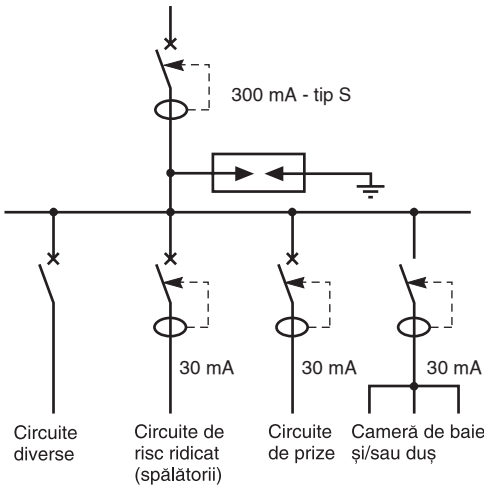



*Fig. P6: Instalație cu întreruptorul automat sosire cu protecție diferențială de tip S, cu temporizare redusă.*

## Întreruptor principal de intrare fără protecție diferențială

În acest caz, protecția persoanelor trebuie asigurată prin:

- nivel de izolație clasă II, până la bornele din aval ale dispozitivelor RCD;
- toate circutele de plecare din tabloul de distribuție trebuie să fie protejate prin dispozitive RCD de 30 mA sau 300 mA, în conformitate cu tipul circuitului respectiv, așa cum s-a aratat în capitolul F. Acolo unde este instalat un descărcător, în amonte de tabloul de distribuție, pentru a proteja echipament electronic (ca: microprocesoare, înregistratoare video, televizoare, aparate de marcat, etc.) este imperativ ca dispozitivul să se deconcteze automat de la instalație în urma unei defectări (rară, dar întotdeauna posibilă). Unele dispozitive de acest tip utilizează elemente de înlocuire fuzibile, totuși metoda recomandată este de a utiliza un întreruptor automat (vezi **Fig. P7**).

**Recomandări de componente adecvate marca Merlin Gerin**

În **Fig. P7** se prezintă următoarele componente:
**1** Întreruptor principal de intrare tablou, fără protecție diferentială.
**2** Dispozitiv de deconectare automată (dacă este instalat un descărcător).
**3** RCD de tipul DDR-HS 30 mA (de exemplu întreruptor diferențial P+N, tip DPNA-Vigi) pe fiecare circuit care alimentează unul sau mai multe circuite tip priză.
**4** RCD de tipul DDR-HS 30 mA (de exemplu: separator diferențial de sarcină, tip ID) pe circuitele aferente bailor, camerelor de duș, etc. (iluminat, încălzire, prize de racord) sau câte un întreruptor diferențial de 30 mA pentru fiecare circuit.
**5** RCD de tipul DDR-HS 300 mA (de exemplu separator diferențial de sarcină) pe toate celelalte circuite.

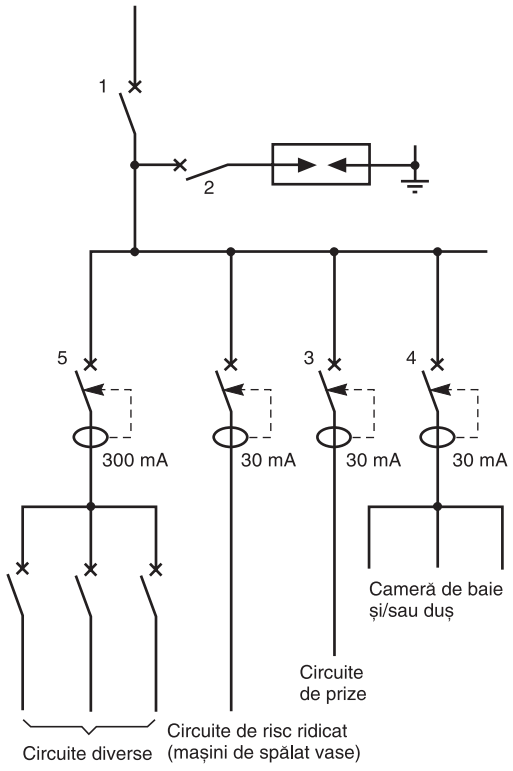



*Fig. P7 :Instalație cu întreruptorul automat sosire fără protecție diferențială.*

*Ramificarea și separarea circuitelor asigură o exploatare comodă și facilitează o localizare rapidă a avariilor.*

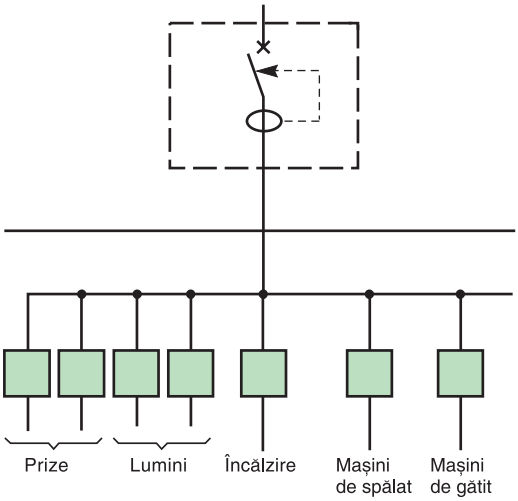



***Fig. P8:*** *Separarea circuitelor în funcție de utilizare.*

*Instalarea în toate circuitele (în special de forță) a unui conductor de protecție, este cerută de CEI și de multe standarde naționale.*

***Fig. P10:*** *Întreruptor automat Fază + Nul, gabarit 2 x 9 mm.*

## 1.4 Circuite

### Subdivizarea circuitelor

În mod frecvent standardele naționale recomandă subdivizarea circuitelor în conformitate cu categoriile de utilizare din instalația respectivă (vezi **Fig. P7**):
- cel puțin 1 circuit pentru iluminat. Fiecare circuit alimentează maxim 8 locuri de lampă;
- cel puțin 1 circuit pentru prize racord de 10/16 A. Fiecare circuit alimentează maxim 8 prize de racord. Prizele pot fi elemente simple sau duble (un element dublu reunește două socluri de 10/16A montate pe un postament comun într-o cutie încastrată, identică cu cea a unui element simplu);
- 1 circuit pentru fiecare echipament electric (încălzitor electric de apă, mașină de spălat rufe, mașină de spălat vase, mașină electrică de gătit, frigider, etc.). În tabelul de mai jos sunt indicate numărul recomandat de prize de racord de 10/16 A (sau simple) și numărul de locuri de lampă, în funcție de utilările diferitelor camere din locuința avută în vedere.

| Destinația încăperii | Numărul minim de locuri de lampă | Numărul minim de prize de racord 10/16 A |
|---|---|---|
| Living, sufragerie | 1 | 5 |
| Dormitor, hol, birou, loc de luat masa | 1 | 3 |
| Bucătărie | 2 | 4(1) |
| Camera de baie/duș | 2 | 1 sau 2 |
| Hol intrare, garderoba | 1 | 1 |
| WC, spații de depozitare | 1 | - |
| Spălătorie | - | 1 |

***(1)*** *Din care 2 deasupra suprafețelor de lucru și 1 pentru un circuit specializat; în plus, o priză independentă de 16 A sau 20 A pentru mașina electrică de gătit și o cutie de joncțiune sau o priză pentru un circuit special de 32 A.*

***Tab. P9:*** *Numărul minim de locuri de lampă și prize în aplicațiile casnice.*

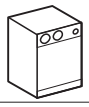
### Conductoare de protecție

CEI și cele mai multe standarde naționale cer ca fiecare circuit să includă un conductor de protecție. Această uzanță este recomandată cu precădere acolo unde sunt instalate echipamente și aparate electrocasnice izolate de clasă I, care reprezintă cazul general.
Conductoarele de protecție trebuie să fie conectate la contactul de legare la pământ a fiecărei prize de racord, iar bornele de legare la pământ ale echipamentului izolat de clasă I, la borna principală de legare la pământ a instalației.
În plus, prizele de racord de 10/16A (sau de valori similare) trebuie prevăzute cu orificii de contact obturabile (cu clapetă).

### Secțiunea conductoarelor (vezi Fig. P10)

Secțiunea conductoarelor și curentul nominal al dispozitivului de protecție asociat, depind de mărimea curentului din circuit, de temperatura mediului, de genul instalației și de influența circuitelor din apropiere (menționate în capitolul G).
În plus, conductoarele de fază, de neutru și de protecție aferente unui circuit, trebuie să fie de aceeași secțiune (presupunând că se utilizează același material conductor, adică cupru sau aluminiu).

**Tabelul P11** indică secțiunea necesară pentru aparatele electrocasnice de uz general. Dispozitivele de protecție pentru Fază + Nul de dimensiune 2 x 9 mm, satisfac cerințele pentru izolație precum și pentru marcarea curentului nominal al circuitului și a dimensiunilor conductorului.

| **Circuit monofazat 230 V, F + N sau F + N + P** | **Secțiunea conductoarelor** | **Puterea maximă** | **Dispozitiv de protecție** |
|---|---|---|---|
| Loc de lampă fix | 1,5 mm² (2,5 mm²) | 2.300 W | Întreruptor automat 16 A<br>Fuzibil 10 A |
| 10/16 A | 2,5 mm² (4 mm²) | 4.600 W | Întreruptor automat 25 A<br>Fuzibil 20 A |
| Circuite cu sarcini individuale, 10/16 A | | | |
| Boiler | 2,5 mm² (4 mm²) | 4.600 W | Întreruptor automat 25 A<br>Fuzibil 20 A |
| Mașină de spălat vase  | 2,5 mm² (4 mm²) | 4.600 W | Întreruptor automat 25 A<br>Fuzibil 20 A |
| Mașină electrică de gătit | 2,5 mm² (4 mm²) | 4.600 W | Întreruptor automat 25 A<br>Fuzibil 20 A |
| Cuptor sau mașină electrică de gătit(1) | 6 mm² (10 mm²) | 7.300 W | Întreruptor automat 40 A<br>Fuzibil 32 A |
| Aparat de încălzit electric | 1,5 mm² (2,5 mm²) | 2.300 W | Întreruptor automat 16 A<br>Fuzibil 10 A |

***(1)** Pentru un circuit trifazic 230/400 V, secțiunea conductoarelor este de 4 mm² pentru cupru și 6 mm² pentru aluminiu, iar pentru protecție se utilizează întreruptor automat 32 A sau fuzibili de 25 A.*

***Tab. P11:** Secțiunea conductoarelor și curentul nominal al dispozitivelor de protecție în instalațiile casnice (secțiunea conductoarelor de aluminiu este arătată în paranteze).*

## 1.5 Protecția împotriva supratensiunilor și loviturilor de trăsnet

Alegerea descărcătoarelor este aratată în capitolul J.

### Reguli de instalare

În acest sens, trebuie respectate trei reguli de instalare:
**1** Este absolut necesar ca fiecare din cele trei lungimi de conductoare utilizate pentru instalarea descărcătorului să fie mai mică de 50 cm, adică:
- conductoarele sub tensiune conectate la separatorul de izolare;
- conductorul de la separatorul de izolare la descărcător;
- conductorul de la descărcător spre priza de pământ a tabloului de distribuție principal (TP) (a nu se confunda cu conductorul de protecție principal (PE) sau cu borna prizei principale de pământ, aferentă instalației). Bara de legare la pământ a tabloului de distribuție principal și descărcătorul trebuie să fie localizate în același panou.

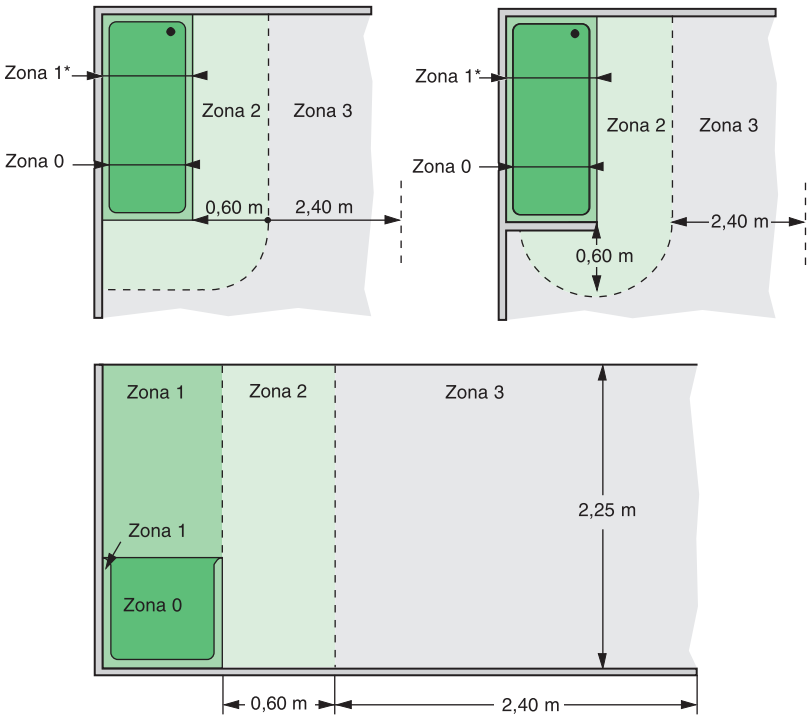
**2** Este necesară utilizarea unui separator de izolare de tipul recomandat de fabricantul descărcătorului în vederea unei bune continuități a alimentării.
**3** Se recomandă ca întreruptorul de putere ce protejează descărcătorul să fie de tipul temporizat sau selectiv.

# 2 Camere de baie și dușuri

Camerele de baie și cele de dușuri sunt zone de risc înalt, din cauza rezistenței foarte mici a corpului uman, atunci când este umed sau cufundat în apă. În consecință, precauțiile care trebuie luate sunt riguroase, iar reglementările sunt mult mai severe decât acelea pentru alte amplasamente.
Standardul relevant în acest domeniu este CEI 60364-7-701.
Precauțiile de respectat se bazează pe trei aspecte:
- definirea zonelor, numerotate 0, 1, 2 și 3 în care plasarea (sau excluderea) oricărui aparat electric este strict limitată sau interzisă și, acolo unde este permisă, este obligatorie protecția electrică și mecanică;
- stabilirea unei legături echipotențiale între toate părțile metalice expuse și cele exterioare din zona respectivă;
- stricta respectare a cerințelor permise pentru fiecare zonă specifică, așa cum rezultă din tabelul de la subcapitolul 3.

## 2.1 Clasificarea zonelor

Subcapitolul 701.32 al CEI 60364-7-701 definește zonele 0, 1, 2 și 3 așa cum este indicat în schițele următoare (vezi **Fig. P12** până la **Fig. P18**).




*(*) Zona 1 este deasupra căzii așa cum este arătat în secțiunea verticală.*

***Fig. P12:*** *Zonele 0, 1, 2 și 3 în proximitatea unei căzi de baie.*

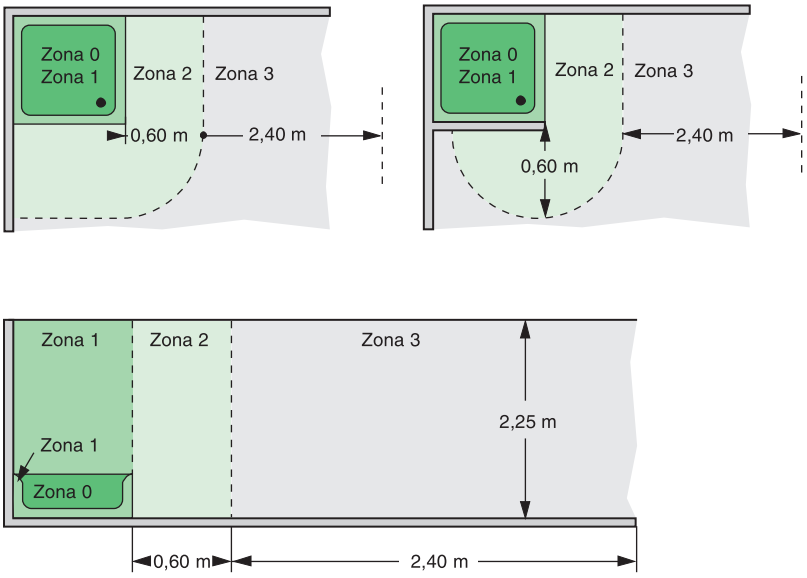
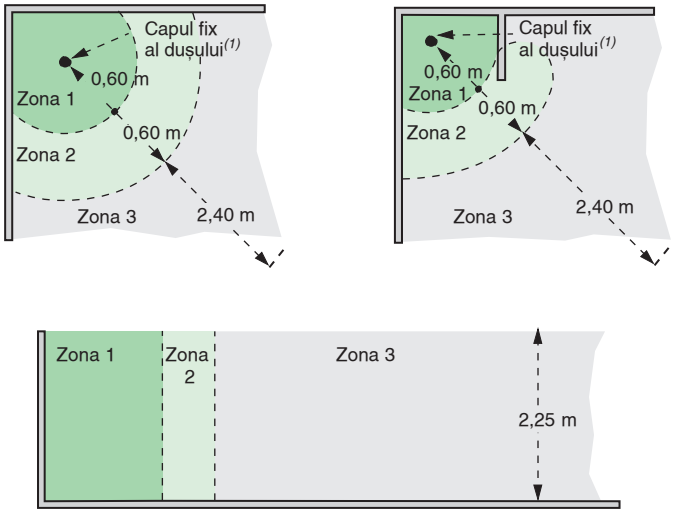



*Fig. P13: Zonele 0, 1, 2 și 3 în proximitatea unui duș cu cădiță.*




***(1)** Când capul fix al dușului este la capătul unui tub flexibil, axa centrală verticală trece prin capătul fix al tubului flexibil.*

*Fig. P14: Zonele 0, 1, 2 și 3 în proximitatea unui duș fără cădiță.*

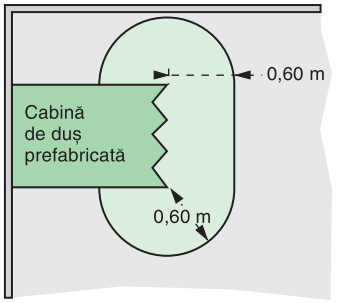



*Fig. P15: Nici o priză sau întreruptor nu sunt permise la 60 de cm de ușa unei cabine de duș prefabricate.*

# 2 Camere de baie și dușuri

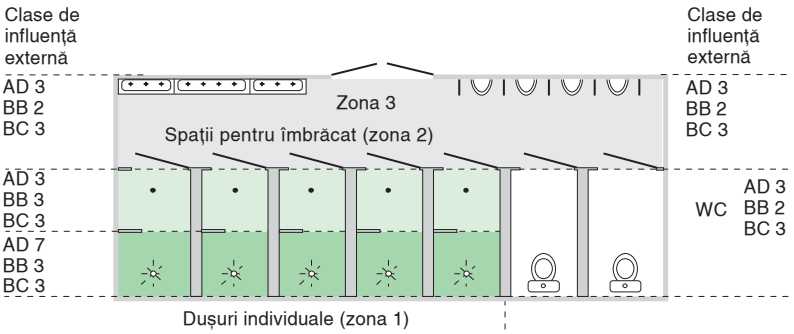



*Fig. P16: Dușuri comune cu spații pentru îmbrăcat comune.*

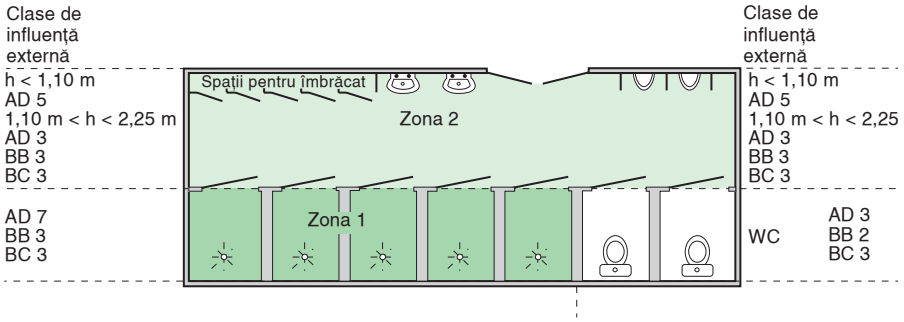



*Fig. P17: Dușuri individuale cu spații separate pentru îmbrăcat.*

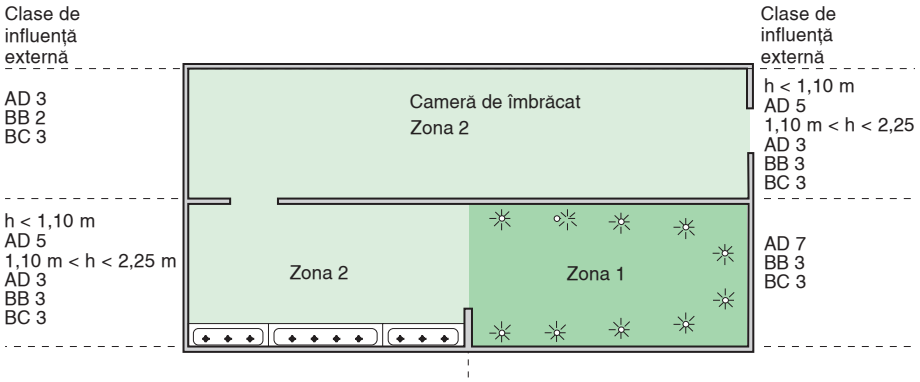



*Fig. P18: Dușuri comune cu spații pentru îmbrăcat comune.*

***Notă:*** *Pentru clasele de influență externă vezi* ***Fig. E46****.*

## 2.2 Legătura echipotențială (vezi **Fig. P19**)

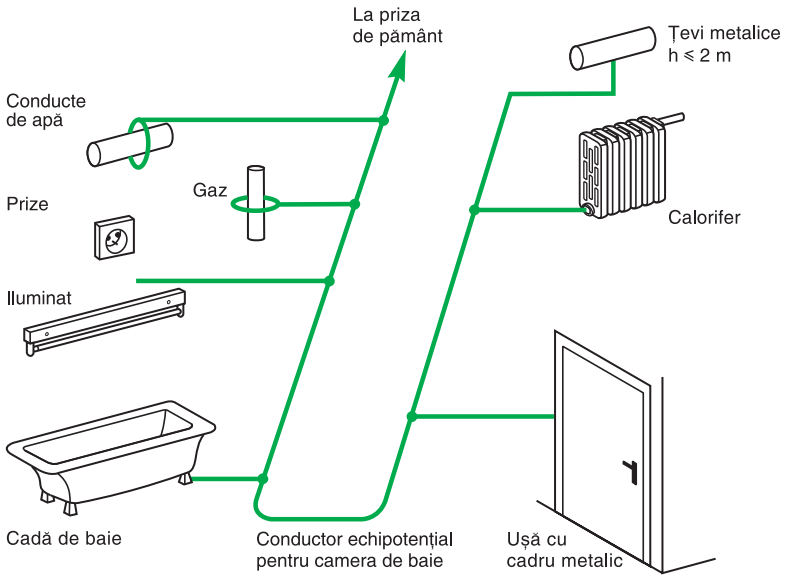



*Fig. P19: Centura suplimentară echipotențială într-o cameră de baie.*

## 2.3 Cerințe pentru fiecare zonă

Tabelul de la capitolul 3 descrie aplicarea principiilor menționate mai sus.

# 3 Recomandări aplicabile instalațiilor și locațiilor speciale

**Tabelul P20** de mai jos sintetizează principalele cerințe ale multor standarde naționale și internaționale.
**Notă:** Secțiunile în paranteze se referă la secțiuni ale standardului CEI 60364-7.

| Locația | Principiul protecției | Nivel IP | Cablaj și conductoare | Aparataj de comutație | Circuit de prize | Materiale de instalații |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Spații de locuit | ■ Sistem TT sau TN-S<br>■ Protecție diferențială<br>☐ 300 mA dacă rezistența de dispersie a prizei de pământ este ⩽ 80 Ω sau temporizată de tip S<br>☐ 30 mA dacă rezistența de dispersie a prizei de pământ este ⩾ 500 Ω<br>■ Descărcători în amontele instalației dacă:<br>☐ alimentarea este printr-o rețea aeriană cu conductoare clasice<br>☐ indicele keraunic > 25<br>■ Conductor de protecție (PE) pentru toate circuitele | 20 | | Manete de operare ale aparatelor de comutație, precum și dispozitive similare montate în tabloul electric între 1 m și 1,8 m deasupra solului | Protecție prin RCD de 30 mA | |
| Camere de baie sau dușuri (secțiunea 701) | Centură suplimentară echipotențială în zonele 0, 1, 2 și 3 | | | | | |
| Zona 0 | Numai TFJS 12 V | 27 | Clasă II strict limitată | | | Aplicații speciale |
| Zona 1 | TFJS 12 V | 25 | Clasă II strict limitată | | | Aplicații speciale<br>Încălzirea apei |
| Zona 2 | TFJS 12 V sau RCD 30 mA | 24 | Clasă II strict limitată | | | Aplicații speciale<br>Încălzirea apei<br>Corpuri de iluminat clasă II |
| Zona 3 | | 21 | | Numai prize protejate de:<br>■ RCD 30 mA sau<br>■ Separație electrică, sau<br>■ TFJS 50 V | | |
| Spatii pentru inot (secțiunea 702) | Centură suplimentară echipotențială în zonele 0, 1 și 2 | | | | | |
| Zona 0 | TFJS 12 V | 28 | Clasă II strict limitată | | | Aplicații speciale |
| Zona 1 | | 25 | Clasă II strict limitată | | | Aplicații speciale |
| Zona 2 | | 22 (înauntru)<br>24 (afară) | | Numai prize protejate de:<br>■ RCD 30 mA sau<br>■ Separație electrică, sau<br>■ TFJS 50 V | | |
| Saună (secțiunea 703) | | 24 | Clasă II | | | Adaptate temperaturii |
| Ateliere (secțiunea 704) | Tensiunea $U_L$ redusă la 25 V | 44 | Protejate mecanic | | Protecție prin RCD de 30 mA | |
| Agricultură, horticultură (secțiunea 705) | Tensiunea $U_L$ redusă la 25 V<br>Protecție antiincendiu cu RCD, 500 mA | 35 | | | Protecție prin RCD de 30 mA | |
| Locații constructive (secțiunea 706) | | 2x | | | | Protecția:<br>■ Uneltelor portabile:<br>☐ TFJS sau<br>☐ separație electrică<br>■ Lămpilor portabile:<br>☐ TFJS<br>■ Echipamentelor fixe:<br>☐ TFJS<br>☐ separație electrică<br>☐ RCD de 30 mA<br>☐ centură suplimentară echipotențială |

***Notă:*** *TFJS - Tensiune Foarte Joasă de Siguranță.*

*Tab. P20: Principalele cerințe ale multor standarde naționale și internaționale (continuare pe pagina următoare).*

| Locația | Principiul protecției | Nivel IP | Cablaj și conductoare | Aparataj de comutație | Circuit de prize | Materiale de instalații |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fântâni (secțiunea 702) | Protejate prin RCD 30 mA și centură echipotențială pentru părțile expuse și conductoare | | | | | |
| Procesare date (secțiunea 707) | Sistem TN-S recomandat<br>Sistem TT dacă curentul de scurgere este limitat. Conductor de protecție min. 10 $mm^2$ (aluminiu). Mărimile mai mici (cupru) trebuie dublate | | | | | |
| Parcări (secțiunea 708) | | 55 | Cabluri flexibile de 25 m lungime | | Prizele trebuiesc plasate la înălțimi cuprinse între 0,8 și 1,50 m de sol<br>Protecție prin RCD de 30 mA (unul pentru 6 locuri de priză) | |
| Ambarcațiuni și vase de plăcere (secțiunea 709) | Lungimea cablurilor pentru alimentarea acestora nu trebuie să depășească 25 m | | | | Protecție prin RCD de 30 mA (unul pentru 6 locuri de priză) | |
| Spații medicale (secțiunea 710) | Sistem medical IT<br>Centură echipotențială | | | | Protecție prin RCD 30 mA | |
| Expoziții, standuri (secțiunea 711) | Sistem TT sau TN-S | 4x | | | Protecție prin RCD de 30 mA | |
| Balneoterapie (tratamente) | Individuală: vezi secțiunea 701 (volumele 0 și 1)<br>Colectivă: vezi secțiunea 702 (volumele 0 și 1) | | | | | |
| Stații alimentare cu carburant | Riscuri de explozie | | Limitată la minim necesar | | | |
| Motoare de vehicule | Protejate prin RCD sau separare electrică | | | | | |
| Instalații de iluminat exterior (secțiunea 714) | | 23 | | | Protecție prin RCD de 30 mA | |
| Unități mobile sau transportabile (secțiunea 717) | Utilizarea sistemului TN-C nu este permisă în aceste unități | | | | Protecție prin RCD de 30 mA pentru prizele alimentând echipamentul exterior acestora | |

***Tab. P20:*** *Principalele cerințe ale multor standarde naționale și internaționale (sfârșit).*

# Capitolul Q
# Ghid pentru Compatibilitate Electromagnetică (EMC)

## Cuprins


| | | |
|---|---|---|
| 1 | **Distribuție electrică** | **Q2** |
| 2 | **Principiile și structura sistemelor de legare la pământ** | **Q3** |
| 3 | **Implementare** | **Q5** |
| | 3.1 Legături echipotențiale în interiorul și în exteriorul clădirilor | Q5 |
| | 3.2 Îmbunătățirea condițiilor de echipotențialitate | Q5 |
| | 3.3 Separarea cablurilor | Q7 |
| | 3.4 Pardoseli false | Q7 |
| | 3.5 Instalarea (pozarea) cablurilor | Q8 |
| | 3.6 Instalarea cablurilor ecranate | Q11 |
| | 3.7 Rețele de comunicație | Q11 |
| | 3.8 Instalarea descărcătoarelor | Q12 |
| | 3.9 Cablarea tabloului electric | Q13 |
| | 3.10 Standarde | Q13 |
| 4 | **Mecanisme de interferență și măsuri de contracarare** | **Q14** |
| | 4.1 Generalități | Q14 |
| | 4.2 Cuplajul impedant de mod comun | Q15 |
| | 4.3 Cuplajul capacitiv | Q16 |
| | 4.4 Cuplajul inductiv | Q17 |
| | 4.5 Cuplajul radiant | Q18 |
| 5 | **Recomandări pentru realizarea cablării** | **Q20** |
| | 5.1 Clase de semnal | Q20 |
| | 5.2 Recomandări pentru realizarea cablării | Q20 |

# 1 Distribuție electrică

Sistemul de tratare a neutrului trebuie ales astfel încât să se asigure siguranța persoanelor și a bunurilor. Comportarea acestor tipuri de sisteme din punct de vedere al compatibilității electromagnetice (EMC) trebuie de asemenea luată în considerare. **Tabelul Q1** prezintă o recapitulare a caracteristicilor lor principale. Standardele europene (a se vedea EN 50174-2 § 6.4 și EN 50310 § 6.3) recomandă sistemul TN-S care prezintă cele mai mici probleme din punct de vedere al EMC pentru instalații care conțin echipamente de tehnica informației (inclusiv echipamente de telefonie).

| | TT | TN-S | IT | TN-C |
|---|---|---|---|---|
| Siguranța persoanelor | Bună<br>Dispozitive de curent diferențial rezidual | Bună<br>Continuitatea conductorului de protecție, PE, trebuie asigurată în întreaga instalație | | |
| Siguranța bunurilor | Bună | Slabă | Bună | Slabă |
| | Curenți de defect de valori medii (< câțiva zeci de amperi) | Curenți de defect mari (cca. 1 kA) | Curenți de defect mici în cazul primului defect (< câțiva zeci de miliamperi), dar mari în cazul celui de-al doilea defect | Curenți de defect mari (cca. 1 kA) |
| Continuitatea în furnizarea energiei | Bună | Bună | Excelentă | Bună |
| Comportarea din punct de vedere al compatibilității electromagnetice | Bună<br>■ Risc de supratensiuni<br>■ Probleme de echipotențialitate<br>■ Necesită utilizarea dispozitivelor cu curenți mari de scurgere la pământ | Excelent<br>■ Puține probleme de echipotențialitate<br>■ Necesită utilizarea dispozitivelor cu curenți mari de scurgere la pământ<br>■ Curenți de defect de valori mari (perturbații tranzitorii) | Slabă (de evitat)<br>■ Risc de supratensiuni<br>■ Pentru tensiuni fază-fază trebuie utilizate filtre de mod comun și descărcătoare<br>■ Dispozitivele de curent diferențial rezidual pot declanșa intempestiv în cazul existenței unor condensatoare cuplate în mod comun<br>■ Echivalent cu sistemul TN în cazul celui de-al doilea defect | Slabă (nu ar trebui utilizată niciodată)<br>■ Nulul de lucru și cel de protecție sunt unul și același<br>■ Circulația curenților armonici din părțile conductoare active ale instalației (radiații mari ale câmpului magnetic)<br>■ Curenți de defect de valori mari (perturbații tranzitorii) |

*Tab. Q1: Principalele caracteristici ale diferitelor sisteme de tratare a neutrului.*

În cazul în care o instalație cuprinde echipamente de puteri mari (motoare, aparate pentru aer condiționat, lifturi, electronică de putere, etc.) este bine să se instaleze unul sau mai multe transformatoare, special pentru aceste echipamente. Distribuția electrică trebuie organizată în sistemul de conexiune stea, iar toate circuitele de plecare trebuie să fie alimentate din tabloul general de joasă tensiune (TGJT). Sistemele electronice (de comandă/monitorizare, reglare, instrumente de măsurare, etc.) trebuie alimentate cu ajutorul unui transformator dedicat, în sistemul TN-S. **Figura Q2** de mai jos prezintă aceste recomandări.

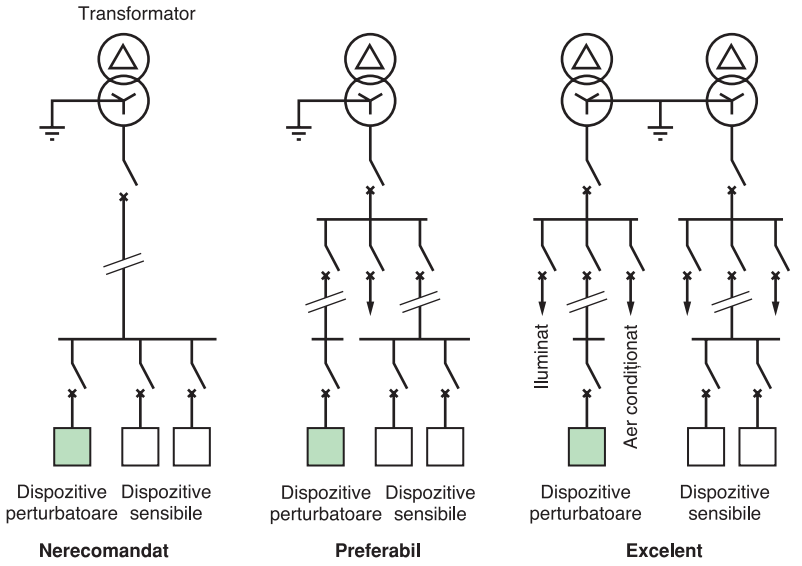



*Fig. Q2: Recomandări referitoare la separarea distribuției.*

# 2 Principiile și structura sistemelor de legare la pământ

Această secțiune se referă la sistemul de legare la pământ și la legăturile echipotențiale ale dispozitivelor de tehnică a informației și a altor dispozitive similare care impun interconectări în scop de semnalizare.
Rețelele de legare la pământ sunt proiectate să îndeplinească un număr de funcțiuni. Ele pot fi independente sau pot funcționa împreună pentru a realiza una sau mai multe din următoarele:

- siguranța persoanelor din punct de vedere al accidentelor de natură electrică;
- protecția echipamentelor din punct de vedere al accidentelor de natură electrică;
- o valoare sigură de referință pentru semnale de înaltă calitate;
- performanțe satisfăcătoare din punct de vedere al EMC.

Sistemul de tratare al neutrului este în general proiectat și realizat în vederea obținerii unei impedanțe scăzute în fața diverșilor curenți de defect și ai curenților de scurgere de înaltă frecvență ai dispozitivelor și sistemelor electronice. Există diferite tipuri de sisteme de tratare a neutrului, însă, unele dintre acestea impun condiții speciale de îndeplinit. Aceste condiții nu sunt totdeauna îndeplinite în instalațiile tipice. Recomandările prezentate în această secțiune se referă la astfel de instalații.
În cazul instalațiilor profesionale și industriale, poate fi necesară o rețea comună de echipotențialitate (CBN) pentru a se asigura performanțe mai bune din punct de vedere al compatibilității electromagnetice, cu referire la următoarele puncte:

- sisteme digitale și tehnologii noi;
- conformitatea cu cerințele de compatibilitate electromagnetică ale EEC 89/336 (emisie și imunitate);
- o gamă largă de aplicații;
- un nivel ridicat de siguranță, securitate, încredere și/sau disponibilitate.

În cazul aplicațiilor casnice totuși, acolo unde utilizarea dispozitivelor electrice este limitată, o rețea de echipotențialitate izolată (IBN) sau, mai bine, o rețea de echipotențialitate izolată în formă de plasă poate fi o soluție.
Este de acum recunoscut faptul că, prizele de pământ independente, dedicate, realizate fiecare pentru câte un sistem de legare la pământ separat sunt o soluție de neacceptat din punct de vedere al compatibilității electromagnetice, și reprezintă de asemenea un risc serios privind siguranța. În anumite țări, reglementările naționale în construcții interzic astfel de sisteme.
Utilizarea unei rețele de legare la pământ “curate” pentru echipamentele electronice și a uneia “poluate” pentru scopuri pur electrice nu este de recomandat în vederea obținerii unei compatibilități electromagnetice corecte, chiar dacă este utilizată doar o singură priză de pământ (vezi **Fig. Q3** și **Fig. Q4**). În eventualitate unei lovituri de trăsnet, prin instalație pot circula curenți de defect sau perturbații de înaltă frecvență sub forma unor curenți tranzitorii. În consecință, pot apărea tensiuni tranzitorii care să genereze căderi sau deteriorări ale instalației. Dacă exploatarea și întreținerea instalației sunt realizate adecvat, această soluție poate fi acceptabilă, dar în general nu este potrivită din punct de vedere al compatibilității electromagnetice și nu este recomandată pentru uz general.

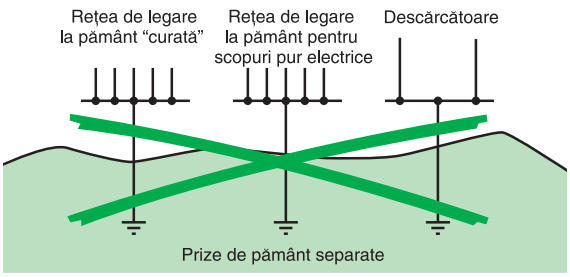

Rețea de legare la pământ “curată”
Rețea de legare la pământ pentru scopuri pur electrice
Descărcătoare
Prize de pământ separate

*Fig. Q3: Prize de pământ independente, o soluție în general neacceptată din motive de siguranță și de compatibilitate electromagnetică.*

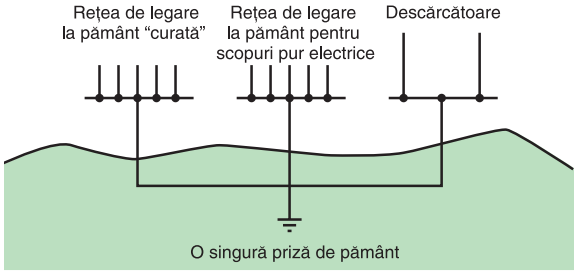

Rețea de legare la pământ “curată”
Rețea de legare la pământ pentru scopuri pur electrice
Descărcătoare
O singură priză de pământ

*Fig. Q4: Instalație cu o singură priză de pământ.*

# 2 Principiile și structura sistemelor de legare la pământ

Configurațiile recomandate pentru rețelele de legare la pământ și pentru prizele de pământ sunt două sau trei (vezi **Fig. Q5**). Această abordare este recomandabilă pentru uz general, atât din punct de vedere al siguranței cât și al compatibilității electromagnetice. Aceasta nu exclude, însă, alte configurații speciale care, corect întreținute, pot fi, de asemenea, adecvate.

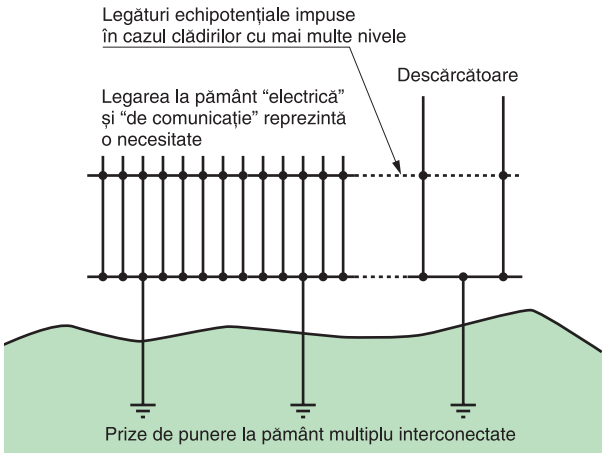

Legături echipotențiale impuse
în cazul clădirilor cu mai multe nivele
Descărcătoare
Legarea la pământ "electrică"
și "de comunicație" reprezintă
o necesitate
Prize de punere la pământ multiplu interconectate

***Fig. Q5:*** *Instalație cu prize de pământ multiple.*

În cazul instalațiilor tipice pentru clădiri cu mai multe nivele, fiecare nivel ar trebui să aibă propria sa rețea de legare la pământ (în general din plasă), iar toate aceste rețele trebuie să fie deopotrivă interconectate și conectate la priza de pământ. Se impun cel puțin două conectări (construite în redundanță) pentru a se asigura faptul că, dacă unul din conductoare se întrerupe, nici o parte a instalației nu va rămâne izolată.
Practic vorbind, pentru a se obține o simetrie mai bună în ceea ce privește circulația de curenți sunt realizate mai mult de două conectări, reducându-se astfel diferențele în tensiune și în impedanța totală între diferitele nivele ale clădirii.
Mai multe căi paralele au frecvențe de rezonanță diferite. Dacă una dintre căi are o impedanță de valoare mai mare, aceasta va fi, probabil șuntată de cealaltă cale având o frecvență diferită de rezonanță. Prin urmare, considerând un spectru larg de frecvențe (zeci de Hz până la MHz), un număr mare de căi determină un sistem de impedanță scazută (vezi **Fig. Q6**).
Fiecare cameră din clădire trebuie să aibă conductoare de legare la pământ pentru legăturile echipotențiale ale dispozitivelor sau sistemelor, canalelor de cabluri, sistemelor de bare și structură. Acest sistem poate fi întărit prin conectarea de tuburi din metal, de jgheaburi, de suporți, schelete metalice, etc. În cazuri speciale precum cele ale camerelor de comandă sau a calculatoarelor instalate pe pardoseli false pot fi utilizate suprafețe plane de referință sau benzi de legare la pământ pentru îmbunătățirea legării la pământ a dispozitivelor sensibile și a cablurilor de protecție interconectate.

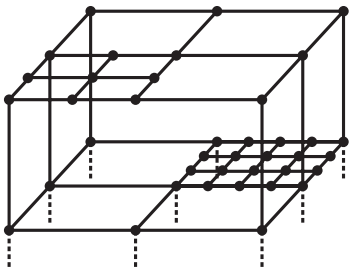


***Fig. Q6:*** *Fiecare nivel are o plasă iar plasele sunt interconectate în câteva puncte între nivele. Anumite plase de la parter sunt întărite pentru a îndeplini cerințele din diferite zone.*

# 3 Implementare

## 3.1 Legături echipotențiale în interiorul și în exteriorul clădirilor

Scopurile fundamentale ale legării la pământ și ale legăturilor echipotențiale constau în următoarele:

- Siguranță

Prin limitarea tensiunii de atingere și prin crearea traseului de întoarcere a curenților de defect.

- Compatibilitate electromagnetică (EMC)

Prin evitarea diferențelor de potențial și crearea efectului de ecranare.

Curenții vagabonzi se propagă în mod inevitabil prin rețeaua de împământare. Pe de altă parte, este imposibil să se elimine toate sursele generatoare de perturbații dintr-o rețea. Buclele de punere la pământ sunt, de asemenea, inevitabile. Când un câmp magnetic afectează o zonă de rețea, de exemplu, un câmp creat de loviturile de trăsnet, diferențele de potențial apar în bucle create de către diferite conductoare, iar curenții circulă prin întregul sistem de legare la pământ. În consecință rețeaua de legare la pământ este direct afectată de către măsura luată în exteriorul clădirii. Atât timp cât curenții circulă prin rețeaua de legare la pământ și nu prin circuitele electronice, aceștia nu produc nici o pagubă. Totuși, atunci când rețelele de legare la pământ nu sunt echipotențiale, de exemplu, atunci când ele sunt conectate în stea către priza de pământ, curenții vagabonzi de înaltă frecvență vor circula peste tot unde este posibil, inclusiv prin conductoarele de comandă. Echipamentele pot fi perturbate, afectate sau chiar distruse.

Singurul mijloc mai puțin costisitor de a micșora curenții prin sistemul de legare la pământ și de a menține caracteristici satisfăcătoare de echipotențialitate este de a interconecta rețelele de legare la pământ. Aceasta contribuie la realizarea unor legături echipotențiale mai bune în sistemul de legare la pământ, dar nu elimină necesitatea unor conductoare de protecție. Pentru a îndeplini cerințele legale referitoare la siguranța persoanelor, între fiecare echipament și borna de împământare trebuie să existe conductoare de protecție ușor identificabile și corect dimensionate. Suplimentar, cu excepția clădirilor cu structură metalică, un număr mare de conductoare de la descărcătoare sau de la rețele de protecție împotriva loviturilor de trăsnet trebuie să fie conectate direct la priza de pământ.

Diferența fundamentală dintre un conductor de protecție (PE) și conductorul de coborâre al descărcătoarelor este aceea că primul conduce curenții interni către neutrul transformatorului MT/JT în timp ce al doilea conduce curenți externi (din afara instalației) către priza de pământ.

Într-o clădire, este recomandabil să se conecteze sistemul de legare la pământ la toate structurile conductoare accesibile, și anume: benzi metalice, rame de uși, țevi, etc. În general, este suficient să se conecteze barele metalice capsulate, canalele de cabluri, țevile, tubulatura de ventilație, etc. în cât mai multe puncte posibile. În locurile în care există o cantitate mare de echipamente iar dimensiunea plasei rețelei de legare la pământ este mai mare de patru metri, trebuie adăugat un conductor de echipotențialitate. Dimensiunea și tipul conductorului nu sunt de importanță majoră. Este imperativ necesar să se conecteze rețelele de legare la pământ în cazul clădirilor care au conexiuni de cabluri. Interconectarea rețelelor de legare la pământ trebuie să se realizeze cu ajutorul unui număr de conductoare și a tuturor structurilor metalice interne ale clădirilor sau al celor care leagă clădirile (cu condiția să asigure continuitatea electrică).

Într-o clădire dată, diferitele rețele de legare la pământ (electronice, de calculatoare, de telecomunicație, etc.) trebuie să fie interconectate pentru a alcătui o singură rețea echipotențială de legare la pământ.

Această rețea de legare la pământ trebuie să aibă cât mai multe bucle. Dacă rețeaua de împământare este echipotențială diferențele de potențial între dispozitivele de comunicație vor fi scăzute, iar un număr mare de probleme de compatibilitate electromagnetică vor dispărea. Diferențele de potențial sunt, de asemenea, reduse în eventualitatea unui defect de izolație sau a unei supratensiuni de origine atmosferică.

Dacă condițiile de echipotențialitate dintre clădiri nu pot fi îndeplinite sau dacă distanța dintre clădiri este mai mare de 10 m, pentru legăturile de comunicație este recomandat să se utilizeze fibră optică, iar pentru măsurări și sisteme de comunicație, izolatori galvanici.

Aceste măsuri sunt obligatorii dacă furnizorul de electricitate utilizează sistemele de tratare a neutrului IT sau TN-C.

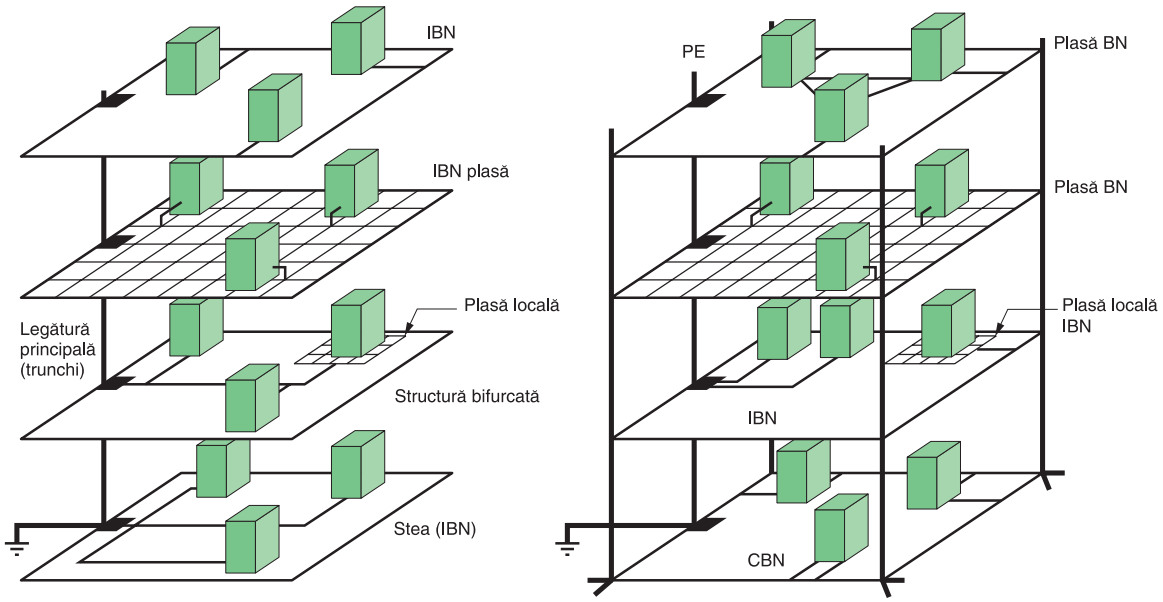
## 3.2 Îmbunătățirea condițiilor de echipotențialitate

### Rețele de echipotențialitate

Chiar și în cazul unei rețele de echipotențialitate ideale realizate din foi sau plase metalice experiența arată faptul că, pentru majoritatea perturbațiilor, o plasă de cca. 3 metri este suficientă pentru realizarea unei rețele de echipotențialitate.

Exemple de diferite rețele de echipotențialitate sunt prezentate în **Figura Q7**.

Structura minimă recomandată cuprinde un conductor (de exemplu un cablu sau o bandă de cupru) care înconjoară camera.




BN: Rețea de echipotențialitate (Bonding network)
CBN: Rețea comună de echipotențialitate (Common bonding network)
IBM: Rețea de echiponteţialitate izolată (Isolated bonding network)

*Fig. Q7: Exemple de rețele de echipotențialitate.*

Lungimea conexiunilor dintre un element de structură și rețeaua de echipotențialitate nu trebuie să depășească 50 cm și o conexiune suplimentară trebuie instalată în paralel la o anumită distanță de prima. Inductanța conexiunii dintre bara de împământare a tabloului electric aferent unui set de echipamente și rețeaua de echipotențialitate (a se vedea mai jos) va fi mai mică de 1 µH (0,5 µH, dacă este posibil). De exemplu, este posibil să se utilizeze un singur conductor de 50 cm sau două conductoare în paralel de 1 metru lungime, instalate la o distanță minimă unul de celălalt (de cel puțin 50 cm) pentru reducerea inductanței mutuale dintre cele două conductoare.
Acolo unde este posibil, conectarea la rețeaua de echipotențialitate trebuie să se realizeze la o intersecție în scopul divizării curenților de înaltă frecvență la patru, fără lungirea conexiunilor. Profilul conductoarelor de legare la pământ nu este important, însă ar fi preferabil un profil plat. Conductorul trebuie să fie cât mai scurt posibil.

## Conductoare paralele de legare la pământ

Scopul conductoarelor paralele de legare la pământ este acela de a reduce curentul de mod comun care circulă în conductoare care, de asemenea, conduc semnale de mod diferențial (impedanța de mod comun și suprafața buclei sunt reduse).
Conductoarele paralele de legare la pământ sunt utilizate pentru protecția împotriva supratensiunilor de origine atmosferică sau pentru curenți de defect mari. Când pentru conductoarele paralele de legare la pământ este utilizat ecranul cablului, acesta nu poate accepta astfel de curenți de valori mari, și prin urmare soluția este de a instala un cablu suplimentar de-a lungul elementelor metalice ale structurii sau a canalului de cabluri, care funcționează ca un alt conductor paralel de legare la pământ pentru întregul cablu.
O altă posibilitate este de a utiliza cablul ecranat alături de un conductor de legare la pământ de secțiune mare, ambele conectate la capete la borna de împământare a echipamentului sau dispozitivului.
Pentru distanțe foarte lungi pentru conductoarele paralele de legare la pământ sunt recomandate conexiuni suplimentare la rețeaua de împământare, la distanțe neregulate între dispozitive. Aceste conexiuni suplimentare formează o cale de întoarcere mai scurtă pentru curenții perturbatori care circulă prin conductorul paralel de legare la pământ.
Pentru canale de cabluri în formă de “U”, ecrane și tuburi conexiunile suplimentare trebuie să fie exterioare pentru a menține separarea cu interiorul (efect de ecranare).

## Conductoare de echipotenţialitate

Conductoarele de echipotențialitate pot fi benzi metalice, împletituri plate sau conductoare de secțiune circulară. În cazul sistemelor de frecvență înaltă, sunt preferabile platbandele metalice sau împletiturile plate (efect pelicular) deoarece un conductor de secțiune circulară are o impedanță mai mare decât cea a unui conductor plat cu aceeași secțiune. Acolo unde este posibil raportul lungime/lățime nu va depăși valoarea 5.

## 3.3 Separarea cablurilor

Separarea fizică a cablurilor de curenți tari și slabi este foarte importantă din punct de vedere al EMC, în mod deosebit dacă cablurile de curenți slabi nu sunt ecranate sau dacă ecranul acestora nu este conectat la părțile conductoare accesibile. Sensibilitatea echipamentelor electronice este în mare măsură determinată de sistemul de cabluri care le conectează.
Dacă nu există nici o separare (diferite tipuri de cabluri instalate în canale de cabluri separate, distanțe minime între cablurile de curenți tari și slabi, tipuri de canale de cabluri, etc.), influența electromagnetică este la valoarea maximă. În aceste condiții, echipamentele electronice sunt sensibile la perturbațiile electromagnetice prin cablurile respective.
Utilizarea sistemelor de bare capsulate precum Canalis sau a ghenelor de cabluri în cazul puterilor mari este puternic recomandată. Nivelul câmpului magnetic radiant, utilizând aceste tipuri de sisteme de transport este de cca. 10 - 20 de ori mai mic decât în cazul cablurilor sau conductoarelor standard.
Recomandările din secțiunile “instalarea cablurilor” și “recomandări de conexiuni” trebuie luate în considerare.

## 3.4 Pardoseli false

Includerea pardoselilor în structura plasei contribuie la echipotențialitatea zonei și, în consecință, la o distribuție și diminuare a curenților perturbatori de joasă frecvență. Efectul de ecranare al unei pardoseli false depinde de echipotențialitatea sa.
Dacă contactul dintre dalele pardoselii este slab (joncțiuni antistatice de cauciuc, de exemplu) sau dacă contactul dintre suporții metalici este fragil (poluare, coroziune, mucegai, etc, sau nu exista suporți) este necesar să se adauge plase de echipotențialitate. În acest caz, este suficient să se asigure conexiunea electrică efectivă între suporții metalici ai coloanelor. Pe piață sunt disponibile elemente de fixare cu arc pentru a conecta coloanele metalice la plasa de echipotențialitate.
În mod ideal ar trebui conectată fiecare coloană, dar este adesea suficient să se conecteze fiecare coloană cu cea apropiată, în fiecare direcție. O plasă cu ochiuri de la 1,5 până la 2 metri este adecvată în majoritatea cazurilor. Secțiunea recomandată pentru cupru este de 10 mm$^2$ sau mai mult. În general, este utilizată o împletitură plată. Pentru a reduce efectele de coroziune este recomandat să se utilizeze cupru plat cositorit (vezi **Fig. Q8**).
Plăcile perforate de pardoseală falsă se comportă ca o pardoseală normală atunci când au o structură metalică celulară.
O dată la cca. 5 ani sunt necesare măsuri de întreținere preventivă pentru plăcile de pardoseală falsă (în funcție de tipul de pardoseală și de mediu, adică de umiditate, praf și coroziune). Joncțiunile antistatice de cauciuc sau din polimeri trebuie să fie întreținute similar cu suprafața pardoselii false (curățate cu produse adecvate).

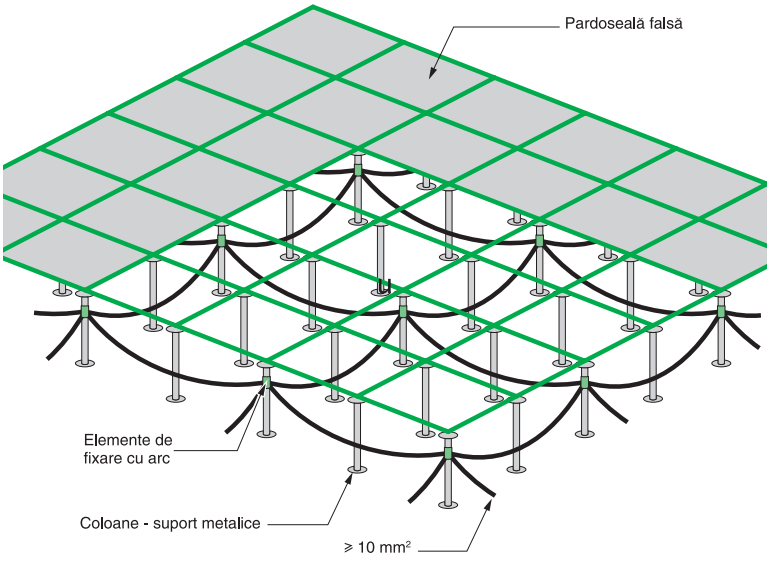



*Fig. Q8: Implementarea pardoselii false.*

## 3.5 Instalarea (pozarea) cablurilor

Alegerea materialului și a formei depinde de următoarele criterii:
- severitatea mediului ambiant din punct de vedere al compatibilității electromagnetice de-a lungul cablului (vecinătatea cu surse de perturbații electromagnetice radiante sau de conducție);
- nivelul permis al emisiilor radiante sau de conducție;
- tipul de cablu (ecranat, torsadat, fibră optică);
- capacitatea de ținere la emisii electromagnetice a echipamentului conectat la sistemul de cablare;
- alte cerințe de mediu (chimice, mecanice, climatice, foc, etc.);
- extinderi viitoare planificate pentru sistemul de cablare.

Canalele nemetalice pentru cabluri sunt adecvate în următoarele situații:
- în medii cu emisii electromagnetice continue de nivel scăzut;
- în cazul sistemelor de cablare cu un nivel scăzut de emisii;
- în cazurile în care canalele metalice de cabluri trebuie evitate (medii chimice);
- în cazul sistemelor utilizând fibre optice.

Pentru canalele metalice de cabluri caracteristicile de impedanță sunt determinate mai curând de forma lor (plată, în forma de “U”, tubular, etc.) decât de secțiune. Formele închise sunt mai potrivite decât cele deschise deoarece acestea reduc influențele în mod comun. Canalele (paturile) de cabluri prezintă deseori decupări pentru fixarea cablurilor. Cu cât sunt mai mici, cu atât este mai bine. Tipurile de decupări care aduc cele mai mici probleme sunt cele situate în paralel cu cablurile și la o oarecare distanță de acestea. Decupările perpendiculare pe cabluri nu sunt recomandate (vezi **Fig. Q9)**.

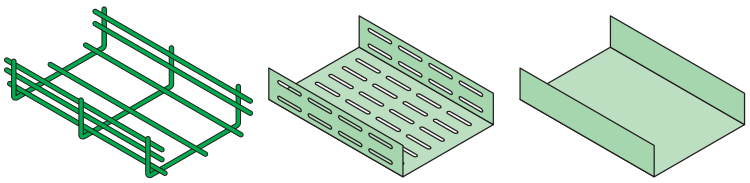



*Fig. Q9: Influențele electromagnetice ale diferitelor tipuri de paturi metalice de cabluri.*

În anumite situații, un canal de cabluri nesatisfăcător din punctul de vedere al compatibilității electromagnetice poate fi acceptat, dacă emisiile electromagnetice ale mediului sunt reduse datorită utilizării unor cabluri ecranate, dacă este utilizată fibră optică sau dacă sunt utilizate canale de cabluri separate pentru diferite tipuri de cabluri (de putere, de date, etc.).
Este o idee bună să existe o rezervă în interiorul unui canal de cabluri pentru un anumit număr de cabluri viitoare. Înălțimea cablurilor trebuie să fie mai mică decât înălțimea canalului de cabluri, așa cum este indicat mai jos. Capacele îmbunătățesc performanțele în ceea ce privește compatibilitatea electromagnetică a canalelor de cabluri.
În cazul canalului de cabluri în formă de “U” câmpul magnetic descrește către cele două colțuri. Aceasta explică de ce sunt preferate canalele de cabluri mai adânci.

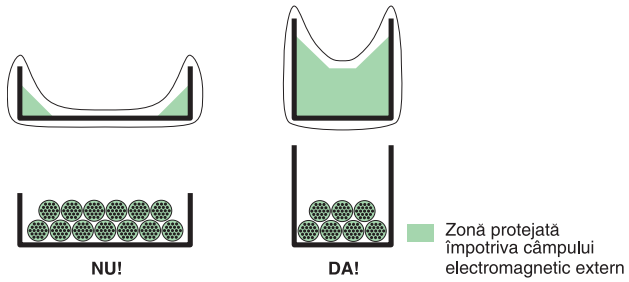



*Fig. Q10: Instalarea diferitelor tipuri de cabluri.*

Diferite tipuri de cabluri (de putere, de curenți slabi) nu trebuie instalate în același loc sau pe același canal de cabluri. Canalele de cabluri nu trebuie niciodată să fie umplute mai mult de jumătate din capacitate.

Este recomandabilă separarea din punct de vedere electromagnetic al grupurilor, unul de celalălt, fie utilizând ecrane de protecţie fie prin instalarea cablurilor pe canale de cabluri diferite. Calitatea ecranării determină distanţa dintre grupuri. În cazul în care nu există ecranare, amplasarea trebuie să se facă la o distanţă corespunzătoare (vezi **Fig. Q11**).

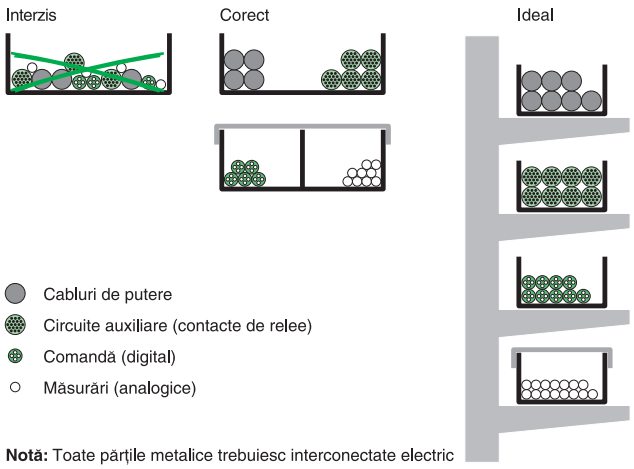



***Fig. Q11:*** *Recomandări privind instalarea grupurilor de cabluri pe canale metalice de cabluri.*

Componentele metalice ale clădirilor pot fi folosite ca suport pentru cabluri, în scopuri de compatibilitate electromagnetică. Grinzile de oţel (în formă de L, H, U sau T) alcătuiesc deseori o structură neîntreruptă legată la pământ cu secţiuni transversale mari şi suprafeţe cu numeroase conectări intermediare la pământ. Cablurile trebuie, dacă este posibil, să fie instalate de-a lungul acestor grinzi. Pozarea cablurilor în interiorul colţurilor este mai potrivită decât pozarea pe suprafeţele exterioare (vezi **Fig. Q12**).

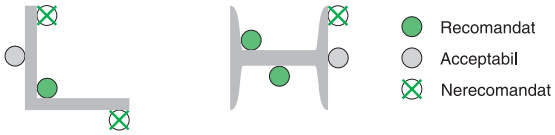



***Fig. Q12:*** *Recomandări privind instalarea cablurilor în interiorul grinzilor de oţel.*

Ambele capete ale canalului de cabluri trebuie, întotdeauna, să fie conectate la prize de pământ locale. Pentru canale de cabluri foarte lungi, sunt recomandate conectări suplimentare la sistemul de legare la pământ, între dispozitivele conectate. Acolo unde este posibil, distanţele dintre aceste conectări la sistemul de legare la pământ trebuie să fie neregulate (în cazul sistemelor de cablare simetrice) pentru evitarea rezonanţei la frecvenţe identice. Toate conectările la sistemul de legare la pământ trebuie să fie scurte.
Sunt disponibile canale de cabluri metalice şi nemetalice. Soluţiile metalice oferă caracteristici mai bune din punct de vedere al EMC. Un canal de cabluri (pat de cablu, tuburi, console, etc.) trebuie să reprezinte o structură metalică continuă de la început până la sfârşit. Un canal de cabluri din aluminiu are o rezistenţă în curent continuu mai mică decât un canal de cabluri din oţel de aceeaşi dimensiune, dar impedanţa de transfer ($Z_t$) a oţelului scade la frecvenţa mai joasă, în mod special în cazul în care oţelul are o permeabilitate relativă (μ) mare. Trebuie avut grijă atunci când se utilizează diferite tipuri de metale deoarece conectarea electrică directă nu este permisă în anumite cazuri, în scopul evitării coroziunii. Acesta poate fi un dezavantaj din punct de vedere al EMC.
Când dispozitivele conectate prin cabluri neecranate nu sunt afectate de perturbaţiile de joasă frecvenţă, compatibilitatea electromagnetică a canalelor nemetalice de cabluri poate fi îmbunătăţită prin adăugarea unui conductor paralel de legare la pământ în interiorul canalului de cabluri. Ambele capete trebuie să fie conectate la sistemul local de legare la pământ. Conectarea trebuie realizată la o parte metalică de mică impedanţă (de ex.: partea metalică a tabloului electric). Conductorul paralel de legare la pământ trebuie să fie proiectat pentru a face faţă curenţilor de defect mari şi curenţilor în mod comun.

## Instalarea

Când un canal de cabluri este realizat dintr-un număr de bucăţi trebuie avută în vedere realizarea continuităţii prin conectarea corectă a diferitelor părţi.
Este preferabil ca bucăţile să fie sudate de-a lungul tuturor marginilor. Nituirea, conectarea cu buloane sau cu şuruburi sunt acceptabile atâta timp cât suprafeţele de contact conduc curentul (fără vopsire sau acoperiri izolante) şi sunt protejate împotriva coroziunii. Cuplul de strângere trebuie să fie corespunzător, în scopul realizării unei bune presiuni pe suprafaţa de contact electric dintre două părţi.
Când este aleasă o anumită formă pentru canalul de cabluri, aceasta trebuie utilizată pe întreaga lungime. Toate interconectările trebuie să fie de mică impedanţă. O singură conectare cu fire între două părţi ale unui canal de cabluri determină o impedanţă locală mare care anulează performanţele din punct de vedere al EMC. Pornind de la câţiva MHz o conectare de 10 centimetri între două părţi ale unui canal de cabluri reduce factorul de atenuare de mai mult de 10 ori (vezi **Fig. Q13**).

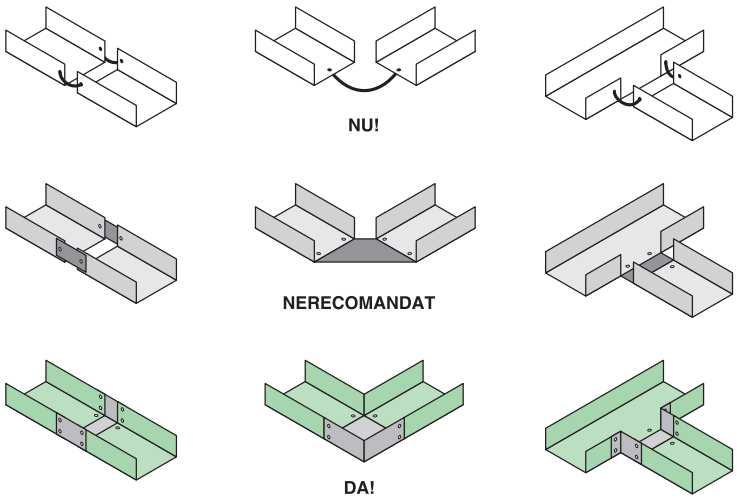



*Fig. Q13: Asamblări de canale metalice de cabluri.*

De fiecare dată când se produce o modificare sau o extensie, este foarte important să se asigure că aceasta este realizată în conformitate cu regulile privind compatibilitatea electromagnetică (de ex.: a nu se înlocui niciodată un canal metalic de cabluri cu unul din plastic!).
Capacele pentru canalele de cabluri trebuie să îndeplinească aceleaşi cerinţe ca şi cele care se aplică la canalul de cabluri. Un capac trebuie să aibă un număr mare de puncte de contact de-a lungul întregii lungimi a canalului de cabluri. Dacă aceasta nu este posibil, capacul trebuie conectat la canalul de cabluri cel puţin la cele două capete ale sale utilizând elemente de conectare scurte (de ex. elemente de conectare împletite sau tip plasă).
Când canalul de cabluri trebuie să fie întrerupt pentru a trece printr-un perete (de ex. pereţi antifoc) între cele două părţi trebuie utilizate elemente de conectare de impedanţă mică (vezi **Fig. Q14**).

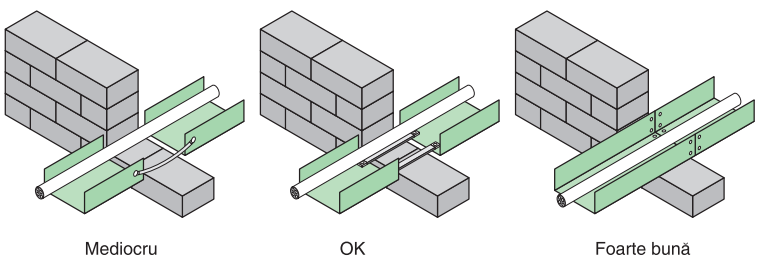



*Fig. Q14: Recomandări pentru trecerea printr-un perete a canalului de cabluri.*

## 3.6 Instalarea cablurilor ecranate

Când se hotărăşte utilizarea cablurilor ecranate, este necesar să se determine cum pot fi conectate la pământ ecranele (tipul de legare la pământ, conectori, intrarea cablului, etc.), altfel avantajele sunt considerabil reduse. Efectiv, ecranele trebuie legate pe 360°. **Figura Q15** de mai jos arată diferite moduri de legare la pământ a cablurilor ecranate.
În cazul echipamentelor de calcul şi a legăturilor digitale ecranele trebuie conectate la fiecare capăt al cablului.
Conectarea ecranelor este foarte importantă din punct de vedere al EMC şi trebuie urmărite considerentele de mai jos.
Dacă cablul ecranat conectează echipamente amplasate pe aceeaşi zonă a reţelei de legare la pământ, ecranul trebuie conectat la părţile active conductoare la ambele capete.
Dacă echipamentele conectate nu sunt amplasate pe aceeaşi zonă a reţelei de legare la pământ, sunt mai multe posibilităţi:
- Conectarea unui singur capăt la sistemul de legare la pământ este periculoasă. La apariţia unui defect de izolaţie, tensiunea la nivelul ecranului poate fi fatală pentru personalul de exploatare sau poate distruge echipamentul. Mai mult, la frecvenţe înalte ecranul nu este eficient;
- Conectarea ambelor capete ale ecranului la sistemul de legare la pământ poate fi periculoasă la producerea unui defect de izolaţie. În acest caz, un curent de valoare mare va circula prin ecran şi îl va putea distruge. Pentru a limita acest risc, un conductor paralel de legare la pământ poate fi amplasat alături de cablul ecranat. Dimensiunea acestui conductor paralel de legare la pământ depinde de curentul de scurtcircuit din acel punct al instalaţiei.
Este evident faptul că, dacă instalaţia are o reţea de legare la pământ de tip plasă această problemă nu mai apare.

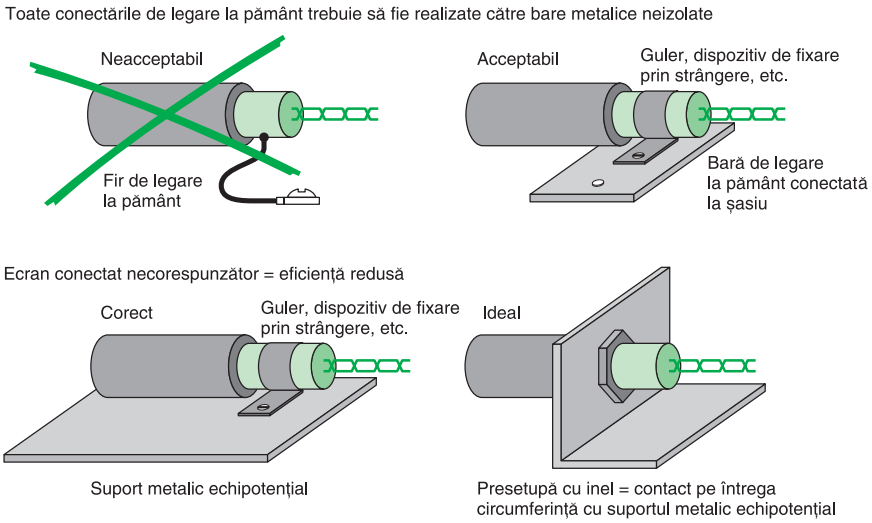

Toate conectările de legare la pământ trebuie să fie realizate către bare metalice neizolate
Neacceptabil
Fir de legare la pământ
Acceptabil
Guler, dispozitiv de fixare prin strângere, etc.
Bară de legare la pământ conectată la şasiu
Ecran conectat necorespunzător = eficienţă redusă
Corect
Guler, dispozitiv de fixare prin strângere, etc.
Suport metalic echipotenţial
Ideal
Presetupă cu inel = contact pe întrega circumferinţă cu suportul metalic echipotenţial

*Fig. Q15: Instalarea cablurilor ecranate.*

## 3.7 Reţele de comunicaţie

Reţelele de comunicaţie acoperă distanţe mari şi interconectează echipamente instalate în încăperi care pot avea sisteme de distribuţie având diferite sisteme de tratare a neutrului. În plus, dacă diferite zone nu sunt echipotenţiale, între diverse echipamente conectate în reţea pot apărea curenţi tranzitorii de valori mari şi importante diferenţe de potenţial. Aşa cum s-a menţionat anterior, acesta este cazul apariţiei defectelor de izolaţie sau descărcărilor electrice atmosferice. Capacitatea de ţinere dielectrică (între conductoarele active şi părţile active accesibile) a cartelelor de comunicaţie instalate în computere sau automate programabile nu depăşeşte, în general, 500 V. În cel mai bun caz, capacitatea de ţinere poate atinge 1,5 kV. În instalaţiile în buclă cu sistemul TN-S şi cu reţele de comunicaţie relativ mici, acest nivel al capacităţii de ţinere este acceptabil. Totuşi, în toate cazurile este recomandată protecţia împotriva descărcărilor electrice (în mod comun sau diferenţial).

Tipul de cablu de comunicație utilizat este un parametru important. Acesta trebuie să fie adecvat tipului de transmisie. Pentru a crea o legătură de transmisie solidă, trebuie urmăriți următorii parametrii:

- impedanța caracteristică;
- perechi torsadate sau de alt tip;
- rezistența și capacitatea pe unitatea de lungime;
- atenuarea semnalului pe unitatea de lungime;
- tipul (tipurile) de ecranare utilizat(e).

Mai mult, este important să se utilizeze legături de transmisie simetrice (diferențiale) deoarece acestea oferă performanțe superioare din punct de vedere al EMC. Totuși, în medii cu condiții severe privind compatibilitatea electromagnetică sau în cazul rețelelor de comunicație extinse, între instalații în care nu există echipotențialitate sau unde acesta este foarte slabă, coroborat cu sistemele IT, TT sau TN-C, este recomandabil să se utilizeze legături cu fibră optică.
Din motive de siguranță, fibra optică nu trebuie să aibă părți metalice (risc de șoc electric în cazul în care fibra optică conectează două zone cu potențiale diferite).

## 3.8 Instalarea descărcătoarelor

Conectarea descărcătoarelor este la fel de importantă ca și însăși alegerea lor. **Figurile Q16** și **Q17a** de mai jos indică faptul că, pentru a se asigura măsuri efective de protecție, cablurile de legătură ale descărcătorului și întreruptorului său nu trebuie să depășească 50 cm.

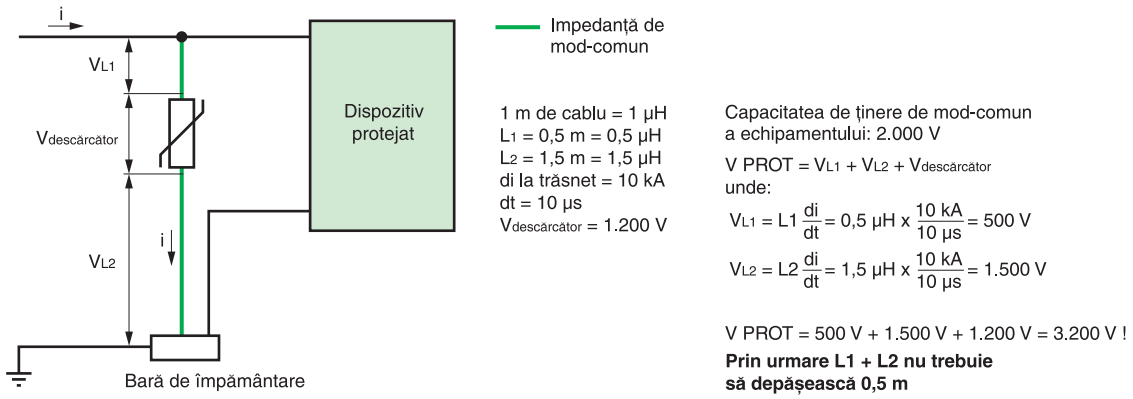

i
VL1
Vdescărcător
i
VL2
Dispozitiv protejat
Bară de împământare
Impedanță de mod-comun
1 m de cablu = 1 µH
L1 = 0,5 m = 0,5 µH
L2 = 1,5 m = 1,5 µH
di la trăsnet = 10 kA
dt = 10 µs
Vdescărcător = 1.200 V
Capacitatea de ținere de mod-comun a echipamentului: 2.000 V
V PROT = VL1 + VL2 + Vdescărcător
unde:
VL1 = L1 di/dt = 0,5 µH x 10 kA/10 µs = 500 V
VL2 = L2 di/dt = 1,5 µH x 10 kA/10 µs = 1.500 V
V PROT = 500 V + 1.500 V + 1.200 V = 3.200 V !
Prin urmare L1 + L2 nu trebuie să depășească 0,5 m

*Fig. Q16: Dispozitivul protejat trebuie să fie conectat la bornele descărcătorului.*

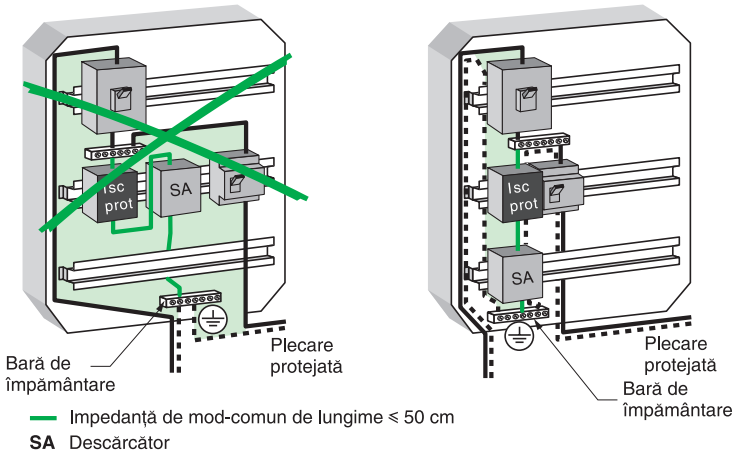
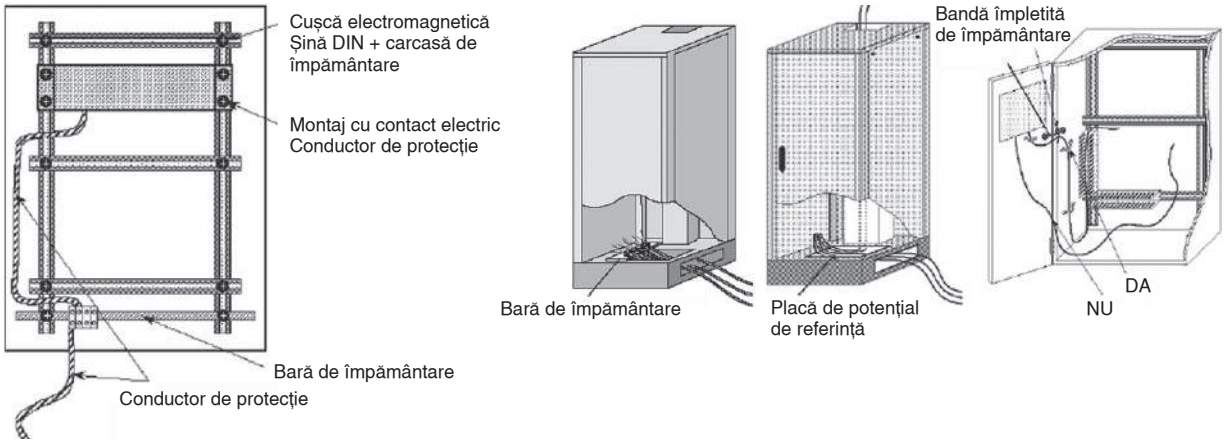



*Fig. Q17a: Exemple de ansambluri cu descărcătoare (SA) și întreruptoare de deconectare pentru a reduce impedanțele de mod comun și suprafața buclei amonte-aval.*

## 3.9 Cablarea tabloului electric

Fiecare tablou electric trebuie să fie echipat cu o bară sau o placă metalică de împământare.
Toate cablurile ecranate și circuitele de protecție externe trebuie să fie conectate în acest punct.
Oricare dintre plăcile metalice ale tabloului sau șinele DIN pot fi utilizate în scop de împământare.
Tablourile din material plastic nu sunt recomandate. În acest caz șina DIN trebuie utilizată ca bară de împământare.




**Contactul electric trebuie stabilit pentru toate circuitele. A se îndepărta vopseaua din punctul de contact.**

***Fig. Q17b:*** *Dispozitivul protejat trebuie conectat la bornele descărcătorului.*

## 3.10 Standarde

Este absolut necesar să se specifice standardele și recomandările care trebuie luate în considerare pentru realizarea instalațiilor.
Pot fi utilizate documentele enumerate mai jos:

- EN 50174-1 Tehnologia informației - Instalarea cablurilor. Partea 1: Specificații și asigurarea calității.
- EN 50174-2 Tehnologia informației - Instalarea cablurilor. Partea 2: Planul de instalare și metode în clădiri.

# 4 Mecanisme de interferență și măsuri de contracarare

## 4.1 Generalități

Fenomenul de interferență electromagnetică poate fi explicat ca în **Figura Q18** de mai jos.

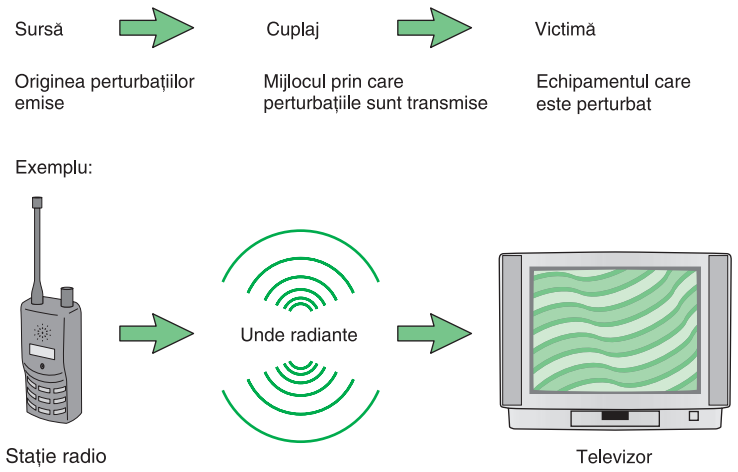



*Fig. Q18: Fenomenul de interferență electromagnetică.*

Diferitele surse de perturbații sunt:
- Emisiile de radio-frecvență:
  - sistemele de comunicație fără fir (radio, televizor, telefoane cu unde radio, telecomenzi),
  - radarele;
- Echipamentele electrice:
  - echipamentele industriale de mare putere (cuptoare cu inducție, mașini de sudură, sistemele de comandă statice),
  - echipamentele de birou (calculatoare și circuite electronice, mașini de copiat, monitoare mari),
  - lămpile cu descărcări (tuburi fluorescente, tuburi cu neon, flash, etc.),
  - componentele electromecanice (relee, contactoare, solenoizi, dispozitive de întrerupere a curentului);
- Sistemele de putere:
  - sistemele de transmisie de putere și de distribuție,
  - sistemele de transport de energie;
- Descărcările electrice (trăsnete);
- Descărcările electrostatice;
- Pulsurile nucleare electromagnetice.

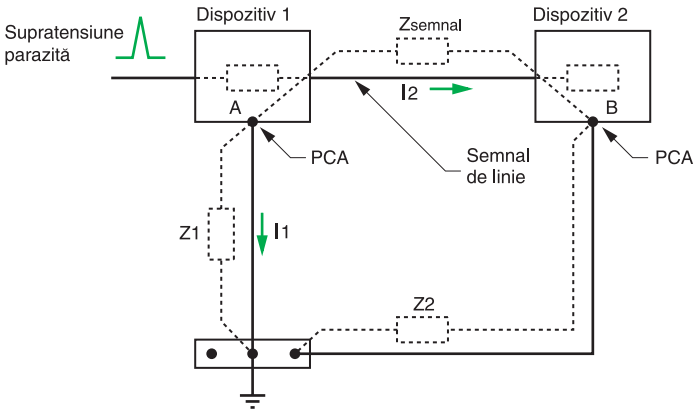
Potențialele "victime" sunt:
- Receptoarele radio și TV, radarele, sistemele de comunicație fără fir;
- Sistemele analogice (senzori, sisteme de achiziție prin măsurări, amplificatoare, monitoare);
- Sisteme digitale (calculatoare, rețelele de comunicație date, echipamente periferice).

Diferitele tipuri de cuplaje sunt:
- Cuplaj impedant de mod comun (galvanic);
- Cuplaj capacitiv;
- Cuplaj inductiv;
- Cuplaj radiant (cablu cu cablu, câmp cu cablu, antenă cu antenă).

## 4.2 Cuplajul impedant de mod comun

### Definiție

Două sau mai multe dispozitive sunt interconectate prin cabluri de alimentare și de comunicație (vezi **Fig. Q19**). Atunci când curenți externi (de descărcare atmosferică, curenți de defect, perturbații) circulă prin aceste impedanțe de mod comun, între punctele A și B care se presupun a fi echipotențiale, apare o tensiune nedorită. Această tensiune parazită poate perturba circuitele de tensiune foarte joasă sau circuitele electronice rapide.
Toate cablurile, inclusiv conductoarele de protecție, au o impedanță, care devine importantă la frecvențe înalte.




Părțile conductoare accesibile (PCA) ale dispozitivelor 1 și 2 sunt conectate la o bornă de împământare comună prin conexiuni de impedanțe $Z_1$ și $Z_2$.
Supratensiunea parazită circulă către pământ prin $Z_1$. Potențialul dispozitivului 1 crește la valoarea $Z_1$ $I_1$. Diferența de potențial față de dispozitivul 2 (de potențial inițial = 0) determină apariția curentului $I_2$.

$$Z_1 I_1 = (Z_{semnal} + Z_2) I_2 \Rightarrow \frac{I2}{I1} = \frac{Z1}{(Z_{semnal} + Z_2)}$$

Curentul $I_2$ prezent pe linia de semnal perturbă dispozitivul 2.

*Fig. Q19: Definiția cuplajului impedant de mod comun (galvanic).*

### Exemple (vezi Fig. Q20)

- Dispozitive conectate printr-un conductor comun de referință (adică PEN, PE) afectat de variații importante de curent ($d_i/d_t$) (curent de defect, descărcări atmosferice, scurtcircuit, variații de sarcină, circuite de chopare, curenți armonici, baterii de compensare a energiei reactive).
- Există o singură cale comună de curent pentru un număr de surse.

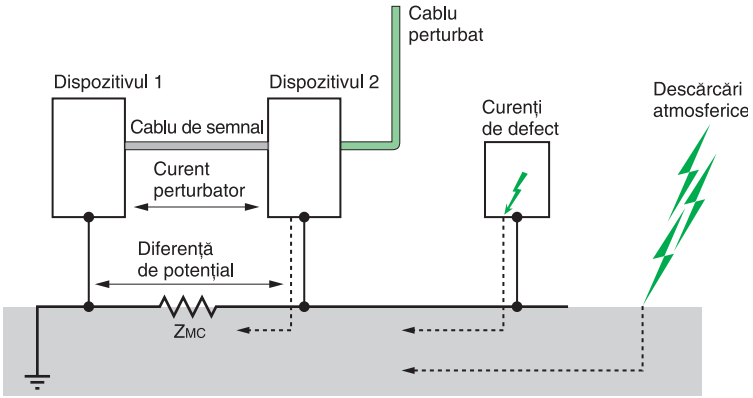
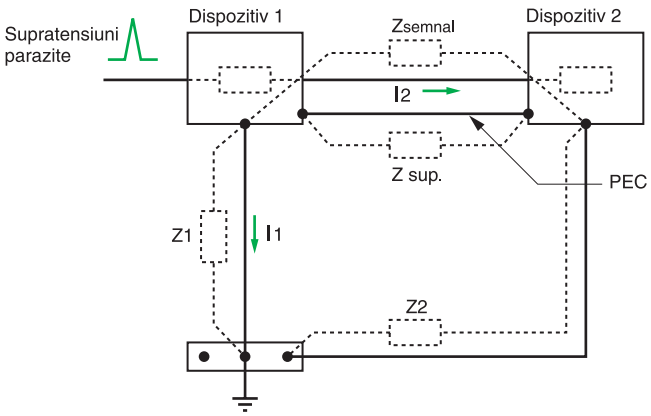



*Fig. Q20: Exemplu de influență prin cuplaj impedant de mod comun (galvanic).*

### Măsuri de contracarare (vezi Fig. Q21)

Dacă nu pot fi eliminate, impedanțele de mod comun trebuie, cel puțin, să fie cât mai mici posibil. Pentru a reduce efectele impedațelor de mod comun este necesar:

- să se reducă valoarea acestor impedanțe;
- să se interconecteze referințele comune;
- să se utilizeze cabluri de lungimi mici sau plate, care la secțiune egală cu cablurile rotunde au o impedanță mai mică;
- să se instaleze legături echipotențiale funcționale între dispozitive;
- să se reducă nivelul curenților perturbatori prin adăugarea unor filtre de mod comun și a unor bobine de inducție în mod diferențial.




Dacă impedanța conductorului paralel de legare la pământ PEC ($Z_{sup}$) este foarte mică în comparatie cu $Z_{semnal}$, cea mai mare parte a curenților perturbatori vor circula prin PEC, deci nu prin linia de semnal, ca în cazul precedent.
Diferența de potențial între dispozitivele 1 și 2 devine foarte mică, iar perturbația acceptabilă.

*Fig. Q21: Măsuri de contracarare pentru cuplajul impedant de mod comun.*

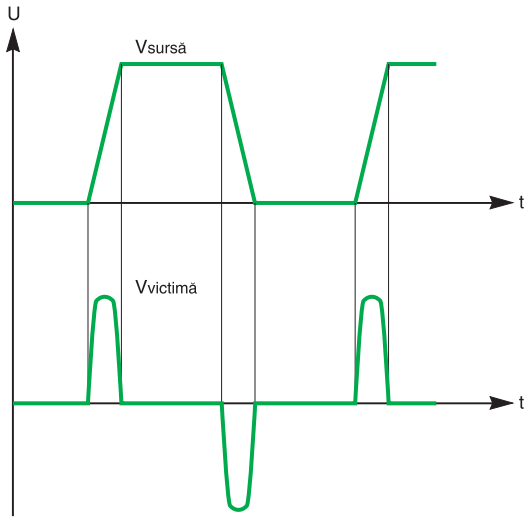



*Fig. Q22: Rezultate tipice ale cuplajului capacitiv (cross-talk capacitiv).*

## 4.3 Cuplajul capacitiv

### Definiție

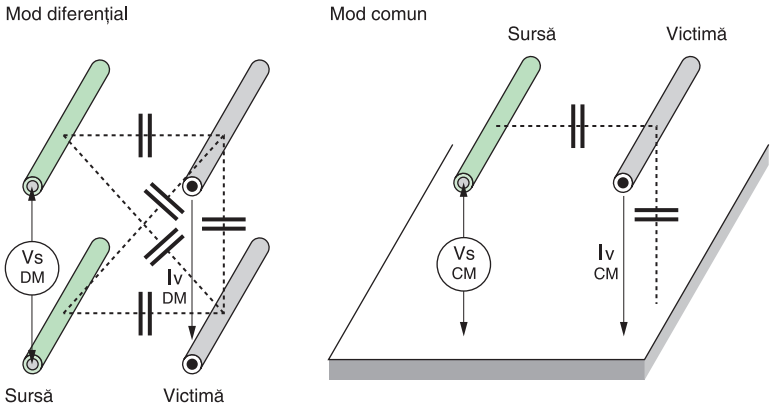
Nivelul perturbațiilor depinde de variația de tensiune ($d_v/d_t$) și de valoarea capacității de cuplaj dintre sursa de perturbații și "victimă".
Cuplajul capacitiv crește cu:

- frecvența;
- gradul de apropiere a sursei de perturbații cu victima și cu lungimea cablurilor paralele;
- înălțimea cablurilor față de planul de referință al pământului;
- impedanța de intrare a circuitului "victimă" (circuitele având o impedanță de intrare mare sunt mai vulnerabile);
- izolația cablului "victimei" ($\varepsilon_r$ al izolației cablului), în mod special în cazul perechilor cuplate.

**Figura Q22** indică rezultatele cuplajului capacitiv (cross-talk) dintre două cabluri.

### Exemple (vezi Fig. Q23)

- Cabluri apropiate supuse unei variații rapide de tensiune ($d_v/d_t$);
- Aprinderea lămpilor fluorescente;
- Cuplarea/decuplarea alimentării echipamentelor (de tip fotocopiatoare, etc.);
- Capacități de cuplaj între înfășurările primară și secundară ale unui transformator;
- Cross-talk între cabluri.




Vs DM: Sursă de tensiune perturbatoare (mod diferențial)
Iv DM: Curent perturbator pe partea "victimei" (mod diferențial)
Vs CM: Sursă de tensiune perturbatoare (mod comun)
Iv CM: Curent perturbator pe partea "victimei" (mod comun)

*Fig. Q23: Exemplu de cuplaj capacitiv.*

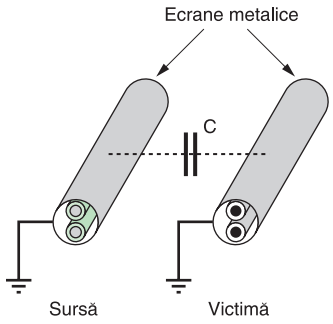



*Fig. Q24 : Cablurile ecranate perforate reduc cuplajul capacitiv*

### Măsuri de contracarare (vezi Fig. Q24)

- Limitarea lungimii cablurilor paralele ale sursei de perturbații și ale "victimei" la strictul necesar;
- Creșterea distanței dintre sursa de perturbații și "victimă";
- În cazul conexiunii în două fire, apropierea celor două fire cât mai mult posibil;
- Poziționarea unui conductor de protecție paralel legat la borna de împământare la ambele capete, între sursa perturbatoare și "victimă";
- Utilizarea de preferință a cablurilor cu două sau patru conductoare în loc de conductoare individuale;
- Utilizarea sistemelor de transport simetrice pe sisteme de cablare simetrice corect instalate;
- Ecranarea cablurilor sursei perturbatoare, a cablurilor "victimei" sau a amândurora (ecranul trebuie legat la pământ);
- Reducerea $d_i/d_t$ a sursei perturbatoare prin mărimea duratei ($d_t$) de creștere a semnalului, dacă este posibil.

## 4.4 Cuplajul inductiv

### Definiție

Sursa perturbatoare și "victima" sunt cuplate printr-un câmp magnetic. Nivelul de perturbare depinde de variația de curent ($d_i/d_t$) și de inductanța mutuală de cuplaj. Cuplajul inductiv crește cu:

- frecvența;
- gradul de apropiere a sursei de perturbații cu victima și cu lungimea cablurilor paralele;
- înălțimea cablurilor față de planul de referință al pământului;
- impedanța sarcinii circuitului perturbator.

### Exemple (vezi Fig. Q25)

- Cabluri apropiate supuse unei variații rapide de curent ($d_i/d_t$);
- Scurtcircuite;
- Curenți de defect;
- Descărcări atmosferice;
- Sistemele de comandă statice;
- Mașini de sudură;
- Motoare asincrone.

# 4 Mecanisme de interferență și măsuri de contracarare

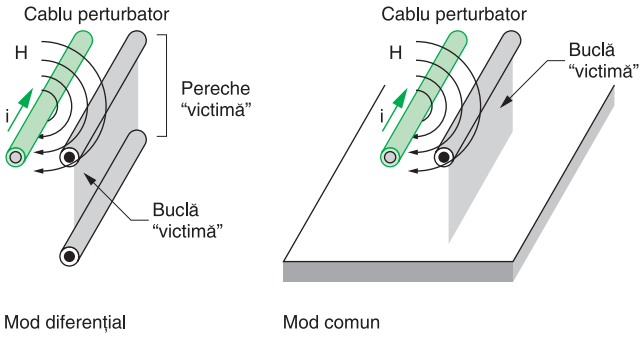



*Fig. Q25: Exemplu de cuplaj inductiv.*

### Măsuri de contracarare

- Limitarea lungimii traseelor paralele ale cablurilor sursei perturbatoare și ale "victimei" la minimum necesar;
- Creșterea distanței dintre sursa perturbatoare și "victimă";
- În cazul conexiunii cu două fire, apropierea celor două fire cât mai mult posibil;
- Utilizarea cablurilor multifilare sau a cablurilor unifilare care se ating, așezate, preferabil în formă de treflă;
- Poziționarea unui conductor de protecție paralel legat la borna de împământare la ambele capete, între sursa perturbatoare și "victimă";
- Utilizarea sistemelor de transport simetrice pe sisteme de cablare simetrice corect instalate;
- Ecranarea cablurilor sursei perturbatoare, a cablurilor "victimei" sau a amândurora (ecranul trebuie legat la pământ);
- Reducerea $d_v/d_t$ a sursei perturbatoare prin mărimea duratei ($d_t$) de creștere a semnalului, dacă este posibil (înserierea de rezistențe sau de rezistoare PTC pe cablul perturbator, inele de ferită pe cablul perturbator și/sau pe cablul "victimei").

## 4.5 Cuplajul radiant

### Definiție

Sursa perturbatoare și "victima" sunt cuplate printr-un mediu (de exemplu: aerul). Nivelul de perturbație depinde de puterea sursei radiante și de eficacitatea antenelor de emise și de recepție. Un câmp electromagnetic este alcătuit dintr-un câmp electric și un câmp magnetic. Cele două câmpuri sunt corelate. Este posibil să se analizeze separat cele două componente, electrică și magnetică.
Câmpul electric (câmpul E) și câmpul magnetic (câmpul H) sunt cuplate în sistemele conectate prin conductoare și bucle (vezi **Fig. Q 26**).

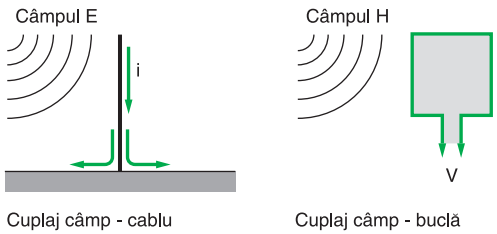



*Fig. Q26: Definiția cuplajului radiant.*

Când un cablu este supus unui câmp electric variabil, prin el este generat un curent electric. Acest fenomen este numit cuplaj câmp - cablu.
În mod similar, când o buclă este parcursă de un câmp magnetic variabil, acesta crează o forță electromotoare care determină o tensiune între cele două capete ale buclei. Acest fenomen este numit cuplaj câmp - bucla.

## Exemple (vezi Fig. Q27)

- Echipamente de radio - transmisie (stații radio, transmițătoare radio și TV, servicii telefonice mobile);
- Radare;
- Sistemul de pornire al automobilelor;
- Mașini de sudură cu arc;
- Cuptoare de inducție;
- Sisteme de comutație de putere;
- Descărcări electrostatice;
- Iluminat.

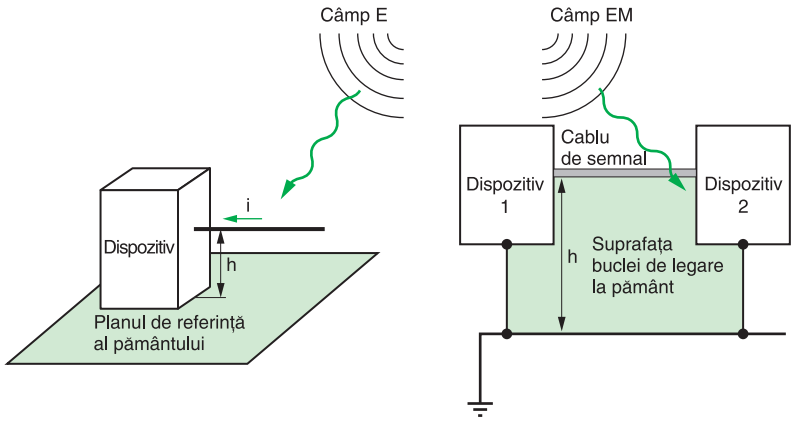



*Fig. Q27: Exemple de cuplaj radiant.*

## Măsuri de contracarare

Pentru a minimiza efectele cuplajului radiant se impun măsurile menționate mai jos.

**Pentru cuplajul câmp - cablu**

- Reducerea efectului de antenă a "victimei" prin reducerea înălțimii (h) a cablului în raport cu planul de referință al pământului;
- Plasarea cablului în interiorul unei protecții metalice continue legată la pământ (tub, canal de cabluri, pat de cablu);
- Utilizarea cablurilor ecranate care sunt corect instalate și legate la pământ;
- Utilizarea de conductoare de protecție paralele;
- Amplasarea de filtre sau de inele de ferită pe cablul "victimă".

**Pentru cuplajul câmp - buclă**

- Reducerea suprafetei buclei "victimă" prin reducerea înălțimii (h) și a lungimii cablului. Utilizarea de soluții similare celor din cazul cuplajului câmp - cablu.

**Utilizarea principiului cuștii lui Faraday**

Cuplajul radiant poate fi eliminat utilizând principiul cuștii lui Faraday. O soluție posibilă este un cablul ecranat cu ambele capete ale ecranului conectate la carcasa metalică a dispozitivului. Pentru creșterea eficienței la frecvențe înalte, părțile conductoare accesibile trebuie să fie legate la pământ.
Cuplajul radiant scade odată cu distanța și, de asemenea, atunci când se utilizează legături de transmisie simetrice.

# 5 Recomandări pentru realizarea cablării

## 5.1 Clase de semnal (vezi Fig. Q28)

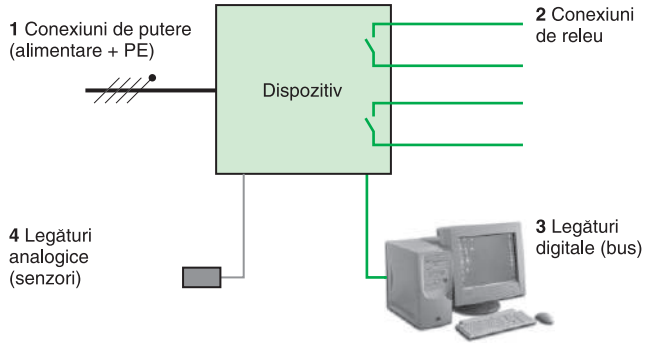

1 Conexiuni de putere (alimentare + PE)
Dispozitiv
2 Conexiuni de releu
4 Legături analogice (senzori)
3 Legături digitale (bus)

*Fig. Q28 : Semnalele interne pot fi grupate in patru clase*

Cele patru clase de semnal sunt:

■ Clasa 1

Alimentările electrice, circuite de putere cu variații $d_i/d_t$ mari, convertizoare în modul de comutare, dispozitive de reglaj și comandă de putere.
Această clasă nu este foarte sensibilă dar perturbă alte clase (în special în mod comun).

■ Clasa 2

Contacte de releu.
Această clasă nu este foarte sensibilă dar perturbă alte clase (comutații, arcuri electrice la deschiderea contactelor).

■ Clasa 3

Circuite digitale (comutații de înaltă frecvență)
Această clasă este sensibilă la pulsații și, de asemenea, perturbă alte clase.

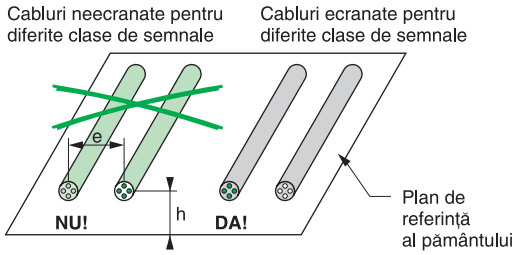
■ Clasa 4

Circuite de intrare/ieșire analogice (măsurări de nivel redus, circuite de alimentare senzori activi). Această clasă este sensibilă.

O idee bună este să se utilizeze conductoare de culori diferite pentru fiecare clasă pentru a facilita identificarea și separarea acestora. Aceasta este utilă la proiectarea instalației și la depistarea problemelor apărute în timpul exploatării.

## 5.2 Recomandări pentru realizarea cablării

Cablurile aferente diferitelor tipuri de semnale trebuie fizic separate (vezi **Fig. Q29**).
Cablurile perturbatoare (clasa 1 și 2) trebuie să fie amplasate la distanță față de cablurile sensibile (clasa 3 și 4) (vezi **Fig. Q30**).
În general, o distanță de 10 cm între cablurile amplasate pe canale metalice de cabluri este suficientă (atât în mod comun cât și în mod diferențial). Dacă există spațiu suficient, este preferabilă o distanță de 30 cm. În cazul în care cablurile trebuie să se intersecteze, aceasta trebuie să se realizeze sub un unghi drept (90°) pentru evitarea cross-talk (chiar dacă se ating). Nu există recomandări în ceea ce privește distanța, în cazul în care cablurile sunt separate cu ajutorul unor despărțituri metalice echipotențiale la care sunt conectate părțile conductoare accesibile ale instalației.
Totuși, înălțimea despărțiturilor metalice trebuie să fie mai mare decât diametrul cablurilor.




Risc de perturbație în mod comun dacă e < 3h

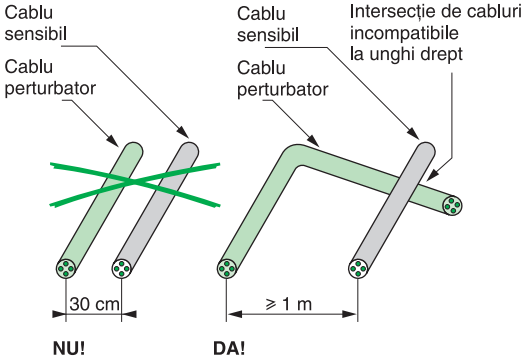



*Fig. Q29: Recomandări de realizare a cablării pentru cabluri purtând semnale diferite.*

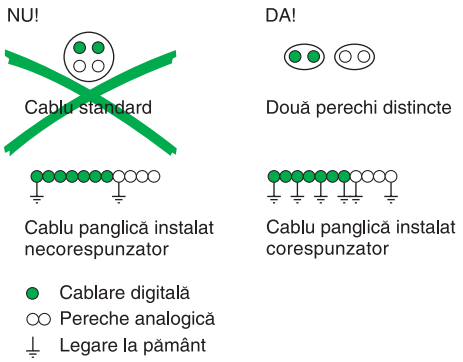



*Fig. Q30: Utilizarea cablurilor și a cablurilor panglică.*

**Un cablu trebuie să transporte semnale ale unei singure clase** (vezi **Fig. Q31)**
Dacă este necesar să se utilizeze un singur cablu pentru a transporta semnale ale unor clase diferite sunt necesare ecrane interne pentru a limita cross-talk (mod diferențial). În cazul claselor 1, 2 și 3, ecranarea este preferabil să fie realizată cu bandă împletită, și trebuie să fie legată la pământ la fiecare capăt.

**Este recomandabilă supraecranarea cablurilor perturbatoare și sensibile** (vezi **Fig. Q32)**
Supraecranarea actionează ca o protecție la înaltă frecvență (în mod comun și în mod diferențial) dacă este legată la pământ la fiecare capăt al cablului utilizând un conector circumferențial, un guler sau un dispozitiv de fixare prin strângere. Totuși o simplă legare la pământ nu este suficientă.

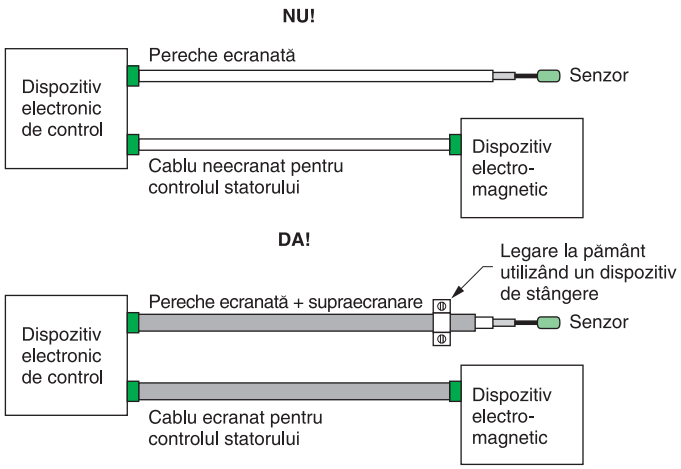



*Fig. Q32: Ecranare și supraecranare pentru cablurile perturbatoare și/sau sensibile.*

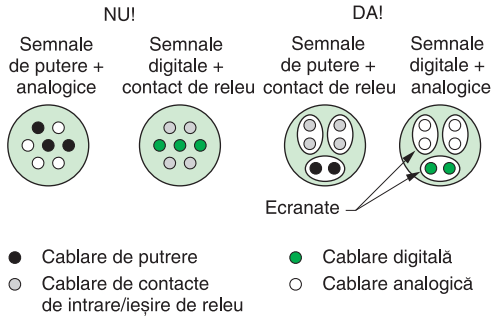



*Fig. Q31: Semnale incompatibile = cabluri diferite.*

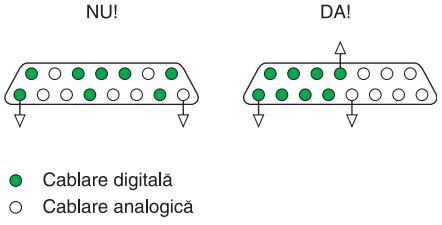



*Fig. Q33: Separare aplicată și conectorilor.*

**A se evita utilizarea unui singur conector pentru diferite grupe** (vezi **Fig. Q33)**
Cu excepția cazurilor unde este necesar pentru clasele 1 și 2 ( mod diferențial). Dacă este utilizat un singur conector atât pentru semnalele analogice cât și pentru cele digitale, cele două clase trebuie separate cel puțin printr-un set de contacte conectate la 0 V, folosit ca o barieră.

**Conductoarele libere (rezerve) trebuie întotdeauna să fie legate la pământ la ambele capete** (vezi **Fig. Q34)**
Referitor la clasa 4 de semnale, aceste conexiuni nu sunt recomandate în cazul liniilor de foarte joasă tensiune și frecvență (risc de apariție a unor semnale de zgomot, prin inducție magnetică la frecvențele de transmitere).

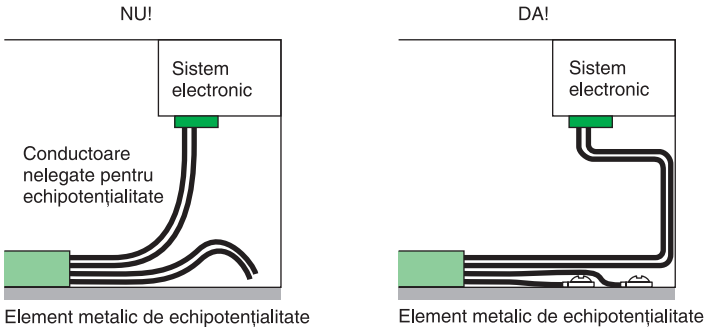



*Fig. Q34: Conductoarele libere trebuie să fie conectate echipotențial.*

# 5 Recomandări pentru realizarea cablării

**Cele două conductoare trebuie să fie instalate cât mai aproape posibil** (vezi **Fig. Q35**)
Aceasta este o particularitate importantă în cazul senzorilor de tensiune scazută. Chiar pentru semnalele de releu, conductoarele active trebuie să fie însoțite de către cel puțin un conductor comun de legătură. În cazul semnalelor analogice și digitale, perechile torsadate sunt o cerință minimă. O pereche torsadată (mod diferențial) garantează faptul că, cele două conductoare rămân apropiate de-a lungul întregii lor lungimi.

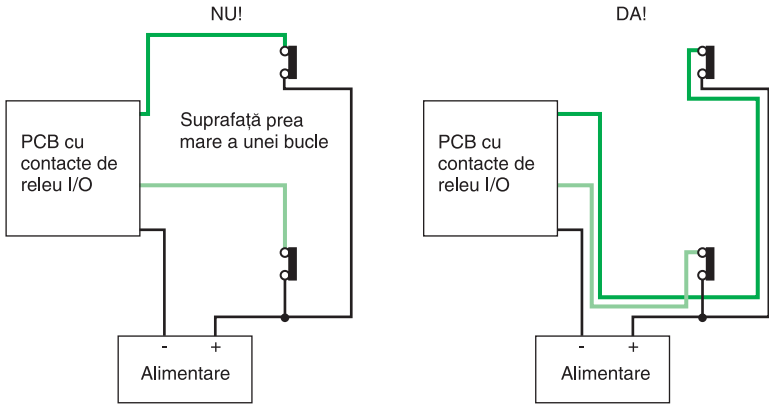
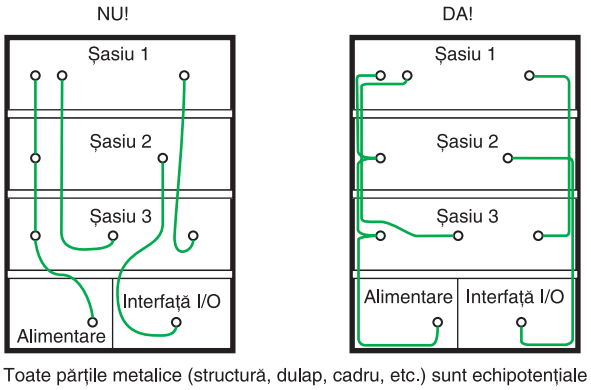



*Fig. Q35: Cele două conductoare ale unei perechi trebuie să rămână totdeauna alăturate.*

**Cablurile din clasa 1 nu necesită ecranare dacă au filtre de radiație**
Dar ele trebuie să fie alcătuite din perechi torsadate pentru a se asigura conformitatea cu cele menționate anterior.

**Cablurile trebuie să fie poziționate întotdeauna alături, pe întreaga lungime, pe partea opusă părților metalice legate la pământ ale dispozitivelor** (vezi **Fig. Q36**)




Toate părțile metalice (structură, dulap, cadru, etc.) sunt echipotențiale

*Fig. Q36: Conductoare sub tensiune, amplasate, pe întreaga lungime, pe partea opusă părților metalice legate la pământ.*

**Utilizarea unor canale metalice de cabluri, corect legate la pământ, îmbunătățește considerabil compatibilitatea electromagnetică internă** (vezi **Fig. Q37**)

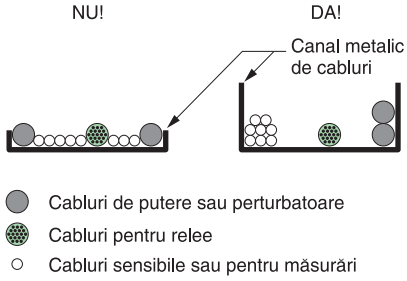



*Fig. Q37: Distribuția de cabluri pe canalul de cabluri.*